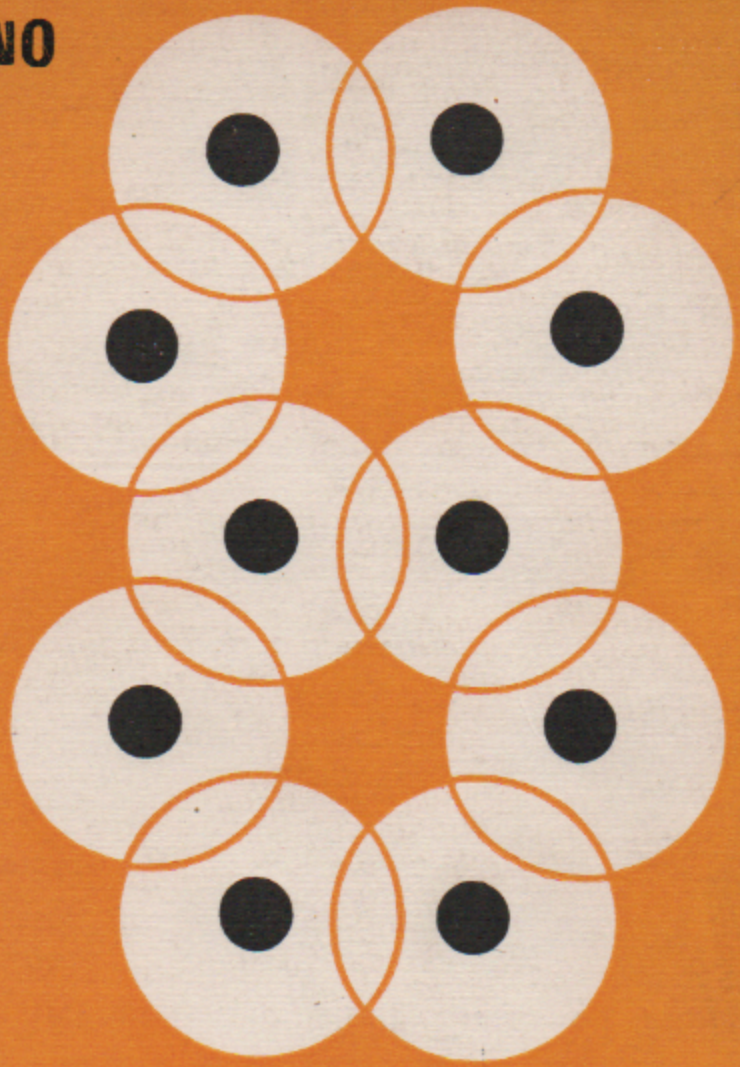
J.R. SORIANO

4º

FÍSICA

Y

QUÍMICA



NEUTRON

NEUTRON

NEUTRON

Física y Química

JOSÉ R. SORIANO
CATEDRÁTICO

EDITORIAL TEIDE - BARCELONA

Obra aprobada por el
MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL
(O.M. 22-III-1965 B.O.M.E.N. 29-III-1965)

TERCERA EDICION, 1965

Depósito Legal, B 27.431 - 1965 *N.º de Registro, B. 495 - 65*

© *1960 - EDITORIAL TEIDE, S. A. - Bori y Fontestá, 18 - BARCELONA - 6*

A. G. PONSA - Gonzalo Pons, 21-23 - HOSPITALET (Barcelona)

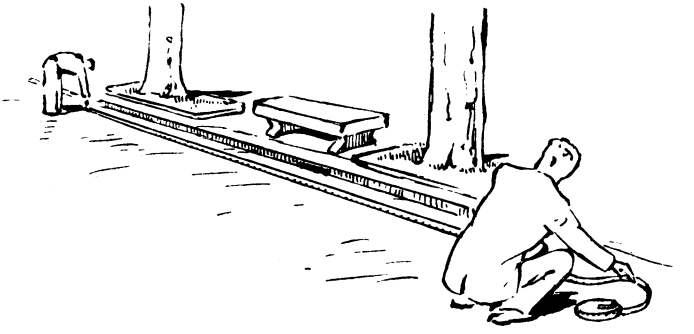
FISICA

1. LA MEDIDA

Magnitudes físicas. — *Recibe el nombre de magnitud física todo lo que es capaz de aumento o disminución y puede medirse y sumarse.*

Así, por ejemplo, una longitud, una superficie, un volumen, un peso, etcétera, son magnitudes físicas.

Medida de magnitudes físicas. Unidad y valor numérico. — *Medir una magnitud es compararla con otra de su misma especie, elegida arbitrariamente, a la que se da el nombre de unidad de medida o simplemente unidad.*



Medir una magnitud es compararla con otra de su misma especie que se toma como unidad.

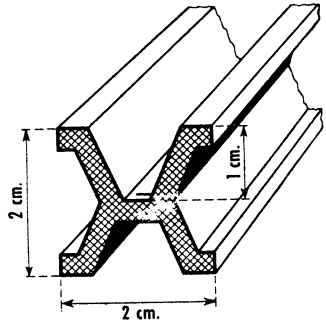
El resultado de la comparación o medida se expresa mediante un número concreto, llamado valor numérico, que representa las veces que la magnitud que se mide contiene a la unidad elegida.

Así, por ejemplo, cuando decimos que la Giralda de Sevilla tiene una altura de 98 metros, queremos decir que 98 unidades llamadas metros, colocadas unas sobre otras, darían una altura igual a la de la Giralda. O dicho de otro modo, que la longitud de la Giralda es 98 veces mayor que la de la unidad empleada para su medida, en este caso, el metro.

La unidad de medida se elige arbitrariamente. Una longitud puede medirse empleando como unidad el metro, el decímetro, o una regla de madera de cualquier longitud, a condición de que a continuación del número que expresa la medida, se indique la clase de unidad empleada. Las dos únicas condiciones que debe cumplir la unidad elegida son: *a*) ser de la misma naturaleza que la magnitud que se mide, y *b*) ser constante.

Medidas directas y medidas indirectas. — *La medida de magnitudes se hace algunas veces directamente.* Así, se mide una longitud por comparación con una regla graduada; un peso por comparación con otro conocido; la capacidad de una vasija, hallando los litros de agua que podemos poner en ella hasta llenarla, etc.

Más frecuentemente la medida de una magnitud se hace indirectamente, mediante un cálculo con ayuda de alguna fórmula. Así se calcula el volumen de una habitación midiendo su longitud, anchura y altura y multiplicando los tres datos hallados; el volumen de una esfera a partir de la medida de su diámetro aplicando la fórmula del volumen de la esfera que se estudia en Geometría, etc.



El metro es la distancia que hay entre dos trazos de una regla de platino que se guarda en París. Para evitar la deformación, la regla tiene la forma que se ve en esta figura.

Sistema métrico decimal. — Antiguamente las unidades empleadas para medir magnitudes eran elegidas arbitrariamente y no guardaban entre sí relación alguna, siendo distintas en los diferentes países, y a veces en las diferentes regiones de un mismo país.

Todo ello era causa de numerosas dificultades, por lo que, reunidos hombres de ciencia de todos los países, acordaron unificar las unidades de medida que deberían utilizarse en todo el mundo. Así nació *el Sistema Métrico Decimal,* que *tiene como unidad fundamental el metro,* mientras todas *las demás unidades están relacionadas directa o indirectamente con él.*

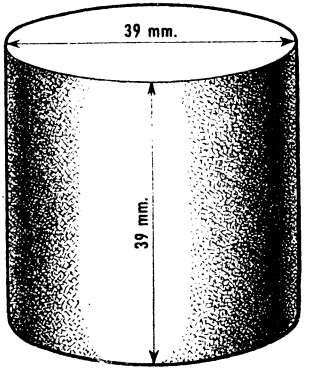
El metro es la unidad fundamental de longitud. Se define como la distancia que hay entre dos trazos hechos en una regla de platino que se guarda en París, cuando su temperatura es de cero grados centígrados. Esta distancia es aproximadamente igual a la diezmillonésima parte del

cuadrante del meridiano terrestre, es decir, que la longitud del cuadrante del meridiano es de 10 000 000 de metros, y la de un meridiano completo de 40 000 000 de metros.

También se usan como unidades de longitud los múltiplos y submúltiplos del metro, que proceden de éste según las potencias de 10,. y cuyos nombres se forman anteponiendo a la palabra metro los prefijos: Kilo = = 1000; Hecto = 100; Deca = 10; deci = 1/10 = 0,1; centi = 1/100 = 0,01; y mili = 1/100 = 0,001. Los nombres de los múltiplos y submúltiplos del metro son por tanto: *Kilómetro* (km) = 1000 m; *Hectómetro* (Hm) = = 100 m; *Decámetro* (Dm) = 10 m; *decímetro* (dm) = 0,1 m; *centímetro* (cm) = 0,01 m, y *milímetro* (mm) = 0,001 m.

La unidad de superficie en el Sistema Métrico Decimal es el metro cuadrado (m^2), que es la superficie de un cuadrado que tiene un metro de lado. Se emplean también sus múltiplos y submúltiplos, que son cuadrados que tienen de lado los múltiplos o submúltiplos del metro. Por ejemplo, el decímetro cuadrado es un cuadrado que tiene de lado un dm. Las unidades de superficie del sistema métrico decimal, aumentan de 100 en 100 y sus nombres y equivalencias son las siguientes: *Kilómetro cuadrado* (km^2) = 1 000 000 m^2; *Hectómetro cuadrado* (Hm^2) = 10 000 m^2; *Decámetro cuadrado* (Dm^2) = 100 m^2; *decímetro cuadrado* (dm^2) = 0,01 m^2; *centímetro cuadrado* (cm^2) = 0,0001 m^2, y *milímetro cuadrado* (mm^2) = = 0,000001 m^2.

La unidad de volumen en el Sistema Métrico Decimal es el metro cúbico (m^3), que es el volumen de un cubo que tiene un metro de arista. Se emplean también sus múltiplos y submúltiplos, que son cubos que tienen de arista los múltiplos y submúltiplos del metro, respectivamente. Así, por ejemplo, el decímetro cúbico será un cubo que tenga de arista un decímetro. Las unidades de volumen del Sistema Métrico Decimal aumentan de 1000 en 1000 y sus nombres y equivalencias son las siguientes: *Kilómetro cúbico* (km^3) = 10^9 m^3; *Hectómetro cúbico* (Hm^3) = 10^6 m^3; *Decámetro cú-*



El kilogramo es el peso en París de un cilindro de platino de 39 mm de altura y 39 mm de diámetro de base, igual al peso de 1 dm^3 de agua pura medido a 4° centígrados. Aquí vemos el kilogramo patrón reproducido a tamaño natural.

bico (Dm^3) = 10^3 m^3; *decímetro cúbico* (dm^3) = 10^{-3} m^3; *centímetro cúbico* (cm^3) = 10^{-6} m^3, *y milímetro cúbico* (mm^3) = 10^{-9} m^3.

La capacidad de las vasijas y el volumen de líquidos y gases se miden en litros. *El litro es igual al volumen de un* dm^3 = *1000* cm^3. Se emplean también múltiplos y submúltiplos del litro que aumentan y disminuyen de 10 en 10 como las unidades de longitud. Éstos son: el *Kilolitro* (kl) = = 1000 litros; el *Hectolitro* (Hl) = 100 litros; el *Decalitro* (Dl) = 10 litros; el *decilitro* (dl) = 0,1 litro; el *centilitro* (cl) = 0,01 litro, y el *mililitro* (ml) = 0,001 litro.

Para medir el peso de los cuerpos, se emplea en el Sistema Métrico Decimal el kilo, introducido al mismo tiempo que el metro como unidad de longitud. *El kilo es el peso, en París, de un cilindro de platino iridiado que se conserva en dicha capital, y que equivale aproximadamente al peso de un* dm^3 *de agua pura medida a la temperatura de 4° centígrados.*

Se emplea muy frecuentemente como unidad de peso *el gramo* que *equivale a la milésima parte del kilo* (1 kilo = 1000 g) y también los múltiplos y divisores del gramo, cuyos nombres y equivalencias son las siguientes: *Decagramo* (Dg) = 10 g; *Hectogramo* (Hg) = 100 g; *Kilogramo* (kg) = 1000 g; *decigramo* (dg) = 0,1 g; *centigramo* (cg) = 0,01 g, y *miligramo* (mg) = 0,001 g.

Sistemas físicos de unidades. — En Física es necesario medir numerosas magnitudes, aparte de las mencionadas (longitud, superficie, volumen y peso) para lo cual se elegían en un principio unidades que no guardaban entre sí relación alguna, hasta que se vio la posibilidad de referir todas las unidades a un corto número de ellas, mediante relaciones que existen entre las mismas. Las unidades indispensables de las que se deducen aquéllas que nos sirven para medir todas las magnitudes físicas, se llaman unidades fundamentales, y a las que se derivan de éstas se las designa unidades derivadas. *El conjunto de unidades fundamentales y derivadas que permiten la medida de todas las magnitudes físicas, recibe el nombre de sistema físico de unidades.*

Se comprende que, según sean las unidades fundamentales elegidas, las unidades derivadas serán distintas, por lo que se conocen varios sistemas físicos de unidades.

Los sistemas físicos de unidades corrientemente empleados son tres, llamados Sistema Cegesimal, Sistema Giorgi o M. K. S. y Sistema Técnico, en los cuales las unidades fundamentales son las siguientes:

SISTEMA CEGESIMAL. Unidad de longitud: *el centímetro,* que es igual a 0,01 m. Unidad de tiempo: *el segundo,* que equivale a 1/86 400 del día solar medio.[1] Unidad de masa: *el gramo masa,* que es la milésima parte de la masa contenida en el kilo patrón de París.

1. El día solar es el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el meridiano de un lugar, pero como todos los días solares no son iguales, se toma el valor medio de los de un año, que es lo que se conoce con el nombre de día solar medio.

SISTEMA GIORGI o M. K. S. Unidad de longitud: *el metro,* definido anteriormente. Unidad de tiempo: *el segundo.* Unidad de masa: *el kilo masa,* que es la masa contenida en el kilo patrón de París.

SISTEMA TÉCNICO. Unidad de longitud: *el metro.* Unidad de tiempo: *el segundo.* Unidad de fuerza: *el kilo peso,* que es la fuerza con que la Tierra atrae en París el kilo patrón.

Es muy importante observar que la tercera unidad del sistema Técnico es de fuerza y no de masa como en los dos anteriores, siendo necesario no confundir masa con fuerza o peso, sobre lo cual insistiremos más adelante.

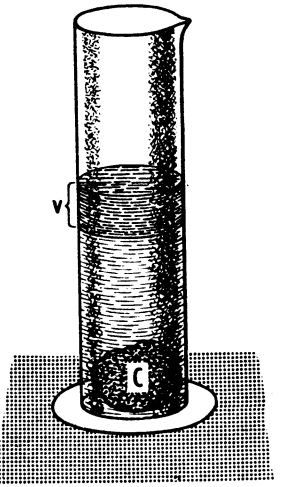
Las unidades derivadas de cada sistema se irán dando a conocer sucesivamente en el momento oportuno.

Medida de longitudes, superficies y volúmenes. — La medida de una longitud se hace comparando directamente la unidad con la longitud a medir. Para ello *se lleva la unidad sobre la longitud que se quiere medir tantas veces como sea posible.* El número que expresa las veces que la longitud contiene a la unidad es la medida.

Cuando la longitud no contiene a la unidad un número exacto de veces, se divide ésta en partes iguales (10 partes) y se lleva una de ellas sobre la longitud que excede. Si, por ejemplo, la longitud medida contiene seis veces a la unidad y además a la décima parte de ésta otras cuatro veces, el resultado de la medida será 6,4.

Para la medida de longitudes se emplea el metro o bien sus múltiplos o divisores. En la práctica se emplean reglas graduadas, dobles decímetros, cintas métricas, etc.

Para medir superficies no se comparan directamente con la superficie unidad, sino que suelen medirse sus dimensiones lineales y se calcula luego,



El volumen del cuerpo *C* viene medido en la probeta por la diferencia de niveles alcanzados por el agua de la misma antes y después de introducir el cuerpo.

mediante operaciones aritméticas sencillas, el valor de la superficie. La unidad de superficie empleada es el metro cuadrado, o bien sus múltiplos y divisores.

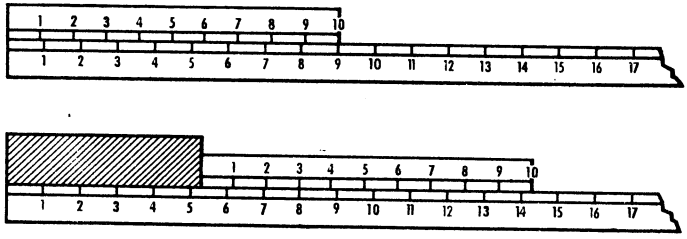
Para medir volúmenes, cuando se trata de cuerpos geométricos, se miden sus dimensiones lineales y se halla el volumen aplicando las fórmulas que proporciona la Geometría. Por ejemplo, el volumen de un prisma se halla multiplicando la longitud de sus tres aristas.

Cuando se trata de cuerpos irregulares de poco volumen se puede usar el siguiente procedimiento: se pone agua en una probeta graduada hasta una de sus divisiones y se sumerge el cuerpo cuyo volumen se quiere medir. El volumen del mismo es igual a la diferencia de volúmenes alcanzados por el agua en la probeta graduada antes y después de introducir el cuerpo.

El volumen de los líquidos se mide con vasijas de cabida conocida o con probetas graduadas, buretas, etc.

La unidad empleada en la medida de volúmenes es el metro cúbico y más corrientemente, sus divisores: el dm^3 o litro y el cm^3.

Nonius o vernier. — A simple vista, lo más que puede apreciarse al realizar una medida es medio milímetro. Para apreciar fracciones más pequeñas se emplea el nonius o vernier. Éste *consiste en una regla graduada a lo largo de la cual puede deslizarse otra más pequeña, cuya longitud total es de* n — *1 partes de la regla mayor y que está dividida en* n *partes iguales.* De esta forma, la diferencia entre una parte de la regla grande y una parte de la regla pequeña es de $1/n$ (un enésimo) del valor de una parte de la regla grande, y el nonius así dispuesto puede apreciar longitudes con una precisión de un enésimo del valor de una división de la regla mayor. Si la regla mayor está dividida en milímetros y la pequeña tiene una longitud total de 9 mm, y está dividida en 10 partes, el nonius puede apreciar décimas de milímetro.



La longitud que se mide con este nonius es de 5.3 divisiones de la regla mayor

Para efectuar una medida se hace coincidir un extremo de la longitud a medir con el cero de la regla mayor; aplicando su borde a la longí-

tud que se mide, se desplaza la reglilla pequeña hasta hacer coincidir su cero con el otro extremo. Las unidades se leen directamente en la regla mayor y los enésimos los da el número de la división de la regla pequeña, que coincide exactamente con una división cualquiera de la regla mayor.

Así, en el nonius de la figura la reglilla tiene una longitud de 9 divisiones de la regla mayor y está dividida en 10 partes iguales, por lo que apreciará décimas. La longitud que se mide en la figura es de cinco divisiones de la regla mayor y tres décimas, puesto que la división número tres de la reglilla es la que coincide exactamente con una de la regla mayor.

Efectivamente, según se aprecia en la figura, la división tres de la reglilla coincide con la ocho de la mayor; por tanto, entre la división dos de la reglilla y la siete de la mayor hay una distancia de 1/10; entre la una de la reglilla y la seis de la mayor, una distancia de 2/10; y entre el cero de la reglilla y la cinco de la regla mayor, que es la longitud que tenemos que apreciar, es de 3/10, como habíamos dicho antes.

Errores experimentales. — Generalmente, cuando se hace una medida no se obtienen resultados rigurosamente exactos, sino que se cometen errores, unas veces por la imperfección de los instrumentos empleados, otras por defectos de nuestros sentidos, y otras, finalmente, por causas fortuitas. *Los errores se denominan errores sistemáticos, cuando se cometen siempre en el mismo sentido y accidentales cuando se producen lo mismo en un sentido que en sentido contrario.*

Los errores sistemáticos se cometen por defecto de los instrumentos de medida y se corrigen estudiando éstos cuidadosamente y comparando sus medidas con los de otros instrumentos y con las obtenidas por otros medios. Los que se cometen por causas fortuitas se corrigen haciendo gran número de medidas y hallando la media aritmética de los valores obtenidos, ya que en una serie de medidas se cometerán tanto errores por exceso como por defecto y, por tanto, al hallar la media de las medidas se compensarán unos y otros.

La diferencia entre el valor real de una magnitud y el valor hallado se conoce con el nombre de error absoluto. Por ejemplo, si al buscar la longitud de una varilla de un metro, hallamos el valor de 1003 mm, la diferencia entre ambos valores, real y hallado, es de 3 mm y representa el error absoluto cometido en esta medida.

Se llama error relativo a la razón o cociente entre el error absoluto y el valor real de la magnitud medida. En el caso del ejemplo anterior, el error relativo es igual a 3/1000, o sea, de un tres por mil.

El error relativo da una indicación clara respecto a la precisión con que se ha efectuado la medida. Si se comete un error absoluto de 1 m al medir la distancia entre dos puntos distantes 10 000 metros, el error relativo será de 1/10 000, y la medida habremos de considerarla como muy precisa. En cambio, si el mismo error absoluto se comete al medir una distancia de 100 metros, el error relativo será de 1/100, lo que indica que la medida se ha hecho con poca precisión.

Ejercicios

¿Qué son magnitudes físicas y en qué consiste su medida? ¿Qué condiciones debe cumplir la unidad de medida?

¿Cuáles son las unidades fundamentales en los tres sistemas de unidades físicas y qué relación hay entre ellas?

Defínase el error absoluto y el relativo poniendo algún ejemplo.

Medir valiéndose de un pie de rey diversos calibres y espesores.

Problema

Al medir por nuestros medios la longitud del metro patrón hemos hallado una longitud de 1,00003 metros. ¿Cuánto vale el error absoluto y el error relativo de la medida?

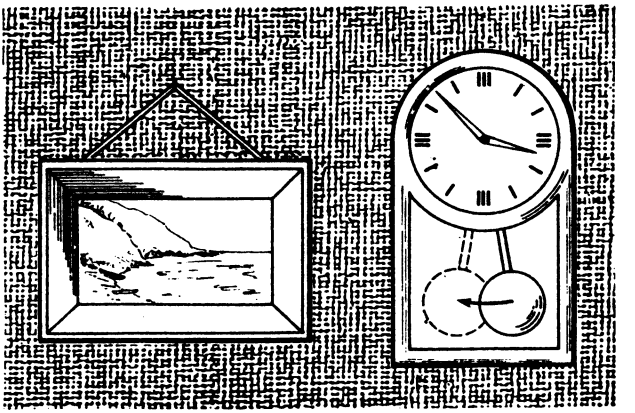
2. LOS MOVIMIENTOS UNIFORME Y UNIFORMEMENTE ACELERADO

Movimiento y reposo. — *Se dice que un cuerpo está en reposo cuando ocupa una posición invariable en el espacio. Por el contrario, se dice que está en movimiento cuando ocupa sucesivamente diferentes posiciones.*

La posición de un punto en el espacio ha de referirse a otros puntos que se consideren fijos; con relación a ellos se dice que un cuerpo está en reposo cuando las distancias a los mismos permanecen invariables, y en movimiento cuando dichas distancias varían continuamente. Así, la lámpara de una habitación se encuentra en reposo porque las distancias que la separan de las paredes y el suelo permanecen invariables. El péndulo de un reloj de pared decimos que está en movimiento, porque las distancias que le separan de las paredes de la caja del mismo cambian constantemente. En ambos casos las paredes de la habitación o de la caja del reloj contienen los puntos que consideramos fijos y a ellos referimos el estado de reposo o de movimiento de la lámpara y del péndulo.

Si la lámpara del ejemplo anterior se encuentra en el camarote de un buque en alta mar, nos parecerá que se encuentra en reposo; y realmente lo está en relación con las paredes del camarote, pero se encuentra en movimiento con relación a los puntos de la costa.

El reposo y el movimiento de un cuerpo se dice que es relativo. Si se



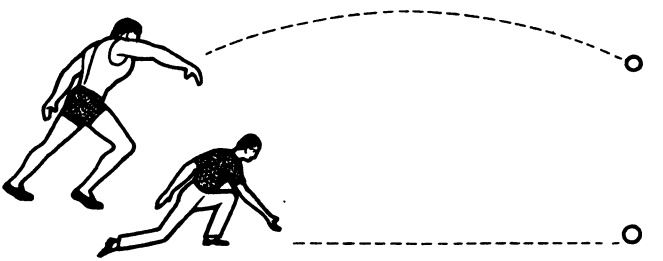
Con relación a las paredes o al suelo de una habitación, el cuadro colgado de la pared está en reposo y el péndulo del reloj se encuentra en movimiento.

conociese un punto del Universo que se encontrase en reposo absoluto, en relación a él podríamos decir que los cuerpos se hallaban en reposo o en movimiento absoluto. Pero como no se conoce tal punto, *el reposo o el movimiento de los cuerpos es siempre relativo.*

En adelante, para simplificar el estudio del movimiento, no nos referiremos a cuerpos en movimiento, sino a puntos móviles.

Trayectoria de un punto móvil. — *Se llama trayectoria a la línea que describe un punto móvil en su movimiento.* La estela que deja tras de sí un cohete indica su trayectoria.

Cuando un punto describe una trayectoria recta, su movimiento recibe el nombre de *movimiento rectilíneo.* Si la trayectoria es curva, el movi-



Se llama trayectoria a la línea que describe un punto móvil en su movimiento. Aquí vemos una trayectoria rectilínea y otra curvilínea.

miento recibe el nombre de *movimiento curvilíneo*. En los casos particulares en que la trayectoria sea una circunferencia, una elipse, una parábola, etc., los movimientos reciben los nombres de *circular, elíptico, parabólico*, etc.

Velocidad media y velocidad instantánea. — Todo movimiento implica un cambio de lugar del móvil en el espacio, es decir, un camino recorrido y un tiempo invertido en recorrerlo.

Supongamos que un tren recorre el espacio comprendido entre Madrid y Barcelona (685 km) en un tiempo de diez horas. Si nos preguntan qué velocidad media ha mantenido el tren durante ese tiempo, hacemos el siguiente cálculo:

$$\frac{685}{10} = 68{,}5 \text{ km por hora,}$$

y contestamos que es de 68,5 kilómetros por hora.

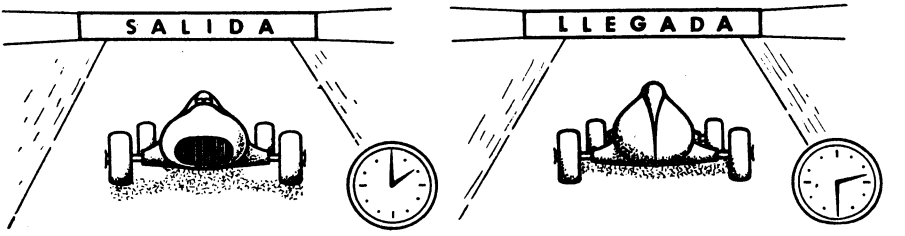
No importa que el tren haya ido unas veces muy de prisa y otras lentamente, o incluso que se haya detenido algunos minutos en las estaciones intermedias. La única condición precisa es que haya salido de la estación de partida y haya llegado a su destino, cubriendo los 685 km en el tiempo de 10 horas.

En general, *cuando un móvil recorre un espacio* e *en un tiempo* t, *se llama velocidad media del móvil durante ese tiempo a la razón o cociente entre el espacio recorrido y el tiempo invertido en recorrerlo*, es decir:

$$v = \frac{e}{t}$$

Evidentemente, el valor hallado para la velocidad media será diferente según el tiempo que se haya tomado. No será la misma en el ejemplo anterior si se toma todo el tiempo invertido en el recorrido, que si se toma una parte durante la cual el tren marche a toda velocidad en una pendiente hacia abajo.

La velocidad media expresa el espacio recorrido por el móvil por término medio en cada unidad del tiempo considerado.



La velocidad media de un móvil se mide dividiendo el espacio recorrido por el tiempo tardado en recorrerlo.

Si se quiere hallar la velocidad de un móvil en un instante, es decir, en un tiempo infinitamente pequeño, habría que tomar un tiempo infinitamente pequeño y medir el espacio recorrido en el mismo, hallando el cociente de la segunda cantidad por la primera.

Se llama velocidad instantánea de un móvil a la razón o cociente entre el espacio recorrido por el móvil y el tiempo tardado en recorrerlo, cuando ese tiempo se toma (a partir de un momento dado) infinitamente pequeño.

La velocidad instantánea de un automóvil o de una máquina de tren viene indicada en cada momento por su contador de velocidad.

Unidad de velocidad. — De la fórmula $v = \frac{e}{t}$, se deduce que la velocidad valdrá la unidad cuando e y t sean numéricamente iguales, o también cuando el móvil recorra una unidad de espacio en una unidad de tiempo.

Según se expresen los espacios y tiempos en unidades cegesimales, Giorgi o técnicas, se obtendrá la velocidad en unidades de cada uno de estos sistemas.

En el sistema cegesimal, la unidad de velocidad es la de un móvil que recorre un centímetro de longitud en un segundo de tiempo, o abreviadamente un centímetro por segundo.

En el sistema Giorgi, la unidad de velocidad es la de un móvil que recorre un metro de longitud en un segundo de tiempo, o abreviadamente un metro por segundo.

En el sistema técnico, la unidad de velocidad es también el metro por segundo, puesto que las unidades de espacio y de tiempo en este sistema son, como en el Giorgi, el metro y el segundo respectivamente.

Movimiento rectilíneo y uniforme. Sus leyes. — Cuando en un movimiento la velocidad es constante, es decir, cuando al dividir el espacio recorrido por el tiempo tardado en recorrerlo, se obtiene siempre el mismo resultado cualquiera que sea el tiempo que se tome, se dice que el movimiento es uniforme. Si, ademas, la trayectoria seguida por el móvil es una línea recta, se dice que el movimiento es rectilíneo y uniforme.

Se llama movimiento rectilíneo y uniforme el de un móvil que recorre una línea recta con velocidad constante.

Según la definición se tendrá:

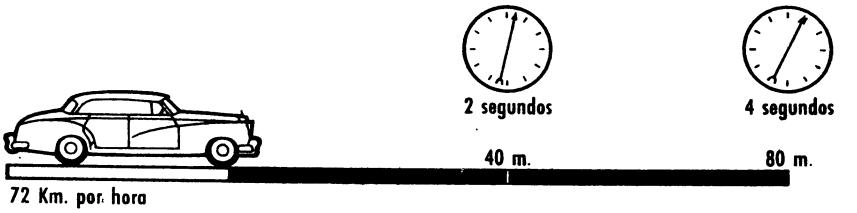
$$v = \frac{e}{t}$$

de donde:

$$e = v \times t \qquad \text{y} \qquad t = \frac{e}{v}$$

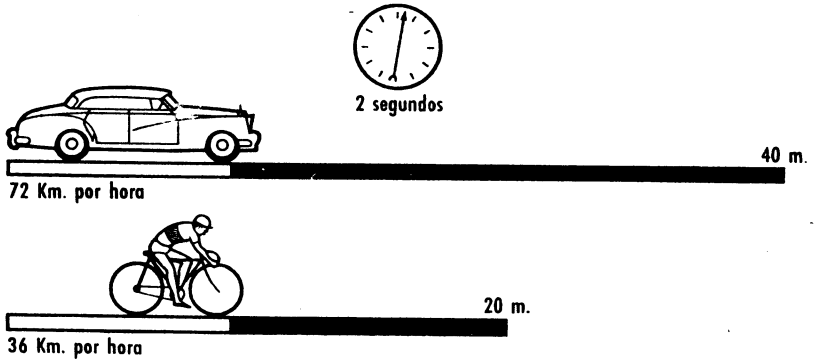
Las tres fórmulas anteriores se conocen con el nombre de fórmulas del movimiento uniforme y expresan las leyes por las que se rige este movimiento, que son las siguientes:

1.ª *Los espacios son proporcionales a los tiempos.*
2.ª *Los espacios son proporcionales a las velocidades.*
3.ª *Las velocidades y los tiempos están en razón inversa.*



Este automóvil, a velocidad constante, recorre doble espacio en un tiempo dos veces mayor (primera ley).

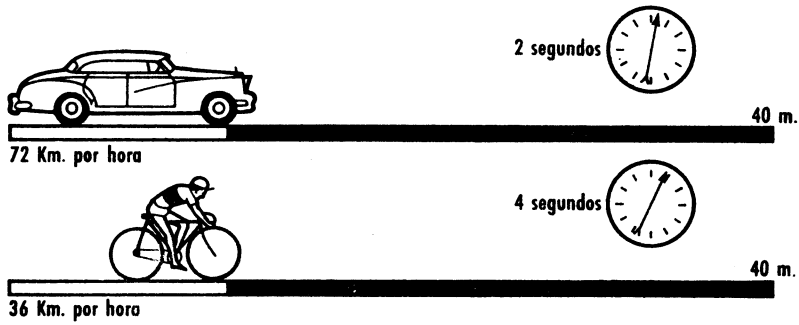
Estas leyes son fáciles de interpretar. La primera significa que cuando un móvil tiene velocidad constante, recorre un espacio dos, tres, etc., veces mayor en un tiempo doble, triple, etc.



El espacio recorrido por el automóvil es doble que el recorrido por el ciclista en igual tiempo porque la velocidad del primero es doble que la del segundo (segunda ley).

La segunda ley expresa que de dos móviles que marchen durante el mismo tiempo, aquel que tenga una velocidad, dos, tres, etc., veces mayor, recorrerá un espacio, dos, tres, etc., veces mayor que el otro.

La tercera ley expresa, finalmente, que cuando dos móviles recorren un



El automóvil recorre igual espacio que el ciclista en la mitad de tiempo porque su velocidad es doble que la de aquél (tercera ley).

mismo espacio, aquel que tenga una velocidad, dos, tres, etc., veces mayor, tardará un tiempo, mitad, tercera parte, etc., que el otro.

Movimiento variado. Aceleración media e instantánea. — Cuando al dividir el espacio recorrido por el tiempo tardado en recorrerlo no se obtiene un cociente constante, sino que depende del tiempo que se considere, es decir, cuando la velocidad del móvil no es constante, el movimiento recibe el nombre de movimiento variado.

Se llama movimiento variado aquel en que la velocidad no es constante.

Si en un movimiento variado la velocidad instantánea en un momento dado es v_1 y al cabo de un tiempo t la velocidad instantánea es v_2, se llama aceleración media del móvil durante el tiempo t al cociente de la diferencia de velocidades $v_2 - v_1$ por el tiempo t, es decir:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

Se llama aceleración media de un móvil a la razón o cociente entre la diferencia de velocidades del móvil en dos instantes dados y el tiempo transcurrido entre ellos.

Así, por ejemplo, si un tren tiene en un momento dado una velocidad de 40 kilómetros por hora y al cabo de 12 minutos ha alcanzado la velocidad de 88 kilómetros por hora, la aceleración media del tren durante esos doce minutos será:

$$\frac{88 \text{ km/h} - 40 \text{ km/h}}{12 \text{ min.}} = 4 \text{ km por hora por minuto.}$$

Esto significa que durante esos doce minutos, el tren ha aumentado su velocidad, por término medio, en cuatro km por hora cada minuto.

También ahora, la aceleración depende en general del tiempo considerado. Si se desea hallar la aceleración en un tiempo infinitamente pequeño, es decir en un instante, tendríamos que medir la velocidad del móvil en dos momentos infinitamente próximos y dividir su diferencia por ese tiempo, infinitamente pequeño transcurrido entre ambos momentos.

Se llama aceleración instantánea de un móvil al cociente que expresa la aceleración media cuando se toma el tiempo infinitamente pequeño.

Unidad de aceleración. — De la fórmula $a = \frac{v_2 - v_1}{t}$ se deduce que la aceleración será igual a la unidad cuando la diferencia $v_2 - v_1$ y el tiempo t sean iguales (numéricamente), o también, cuando el móvil aumente su velocidad una unidad en cada unidad de tiempo.

Según se expresen las velocidades y tiempos en unidades cegesimales, Giorgi o técnicas, se obtendrá la aceleración en cada uno de estos sistemas.

En el sistema cegesimal, la unidad de aceleración es la de un móvil cuya velocidad aumenta un centímetro por segundo en cada segundo de tiempo, o abreviadamente el centímetro por segundo por segundo.

En el sistema Giorgi, la unidad de aceleración es la de un móvil cuya velocidad aumenta un metro por segundo en cada segundo de tiempo, o abreviadamente el metro por segundo por segundo.

En el sistema técnico, la unidad de aceleración es también el metro por segundo por segundo, puesto que en este sistema las unidades de velocidad y de tiempo son las mismas que en el sistema Giorgi.

Movimiento uniformemente variado. Sus leyes. — Cuando en un movimiento variado se encuentra el mismo valor para la aceleración, cualquiera que sea el tiempo que se tome, se dice que la aceleración es constante y que el movimiento es uniformemente variado.

Se llama movimiento uniformemente variado aquél en que la aceleración es constante.

Según la definición se tendrá:

$$\frac{v_2 - v_1}{t} = a \text{ (constante)}$$

y si la velocidad v_1 del móvil en el momento en que empieza a contar el tiempo es igual a cero, esta fórmula se convierte en:

$$a = \frac{v}{t}$$

de donde también:

$$v = a \cdot t \qquad \text{y} \qquad t = \frac{v}{a}$$

Las tres fórmulas anteriores son las tres primeras fórmulas del movimiento uniformemente variado y expresan las tres primeras leyes por que se rige este movimiento:

1.ª *Las velocidades son proporcionales a los tiempos.*

2.ª *Las velocidades son proporcionales a las aceleraciones.*

3.ª *Las aceleraciones y los tiempos están en razón inversa.*

Estas leyes se interpretan también fácilmente. La primera significa que en un movimiento uniformemente acelerado, la velocidad alcanzada por el móvil en un tiempo dos, tres, etc., veces mayor, será doble, triple, etcétera.

La segunda ley expresa que de dos móviles que partan del reposo con movimiento uniformemente acelerado, aquel que tenga una aceleración dos, tres, etc., veces mayor, alcanzará una velocidad dos, tres, etc., veces mayor, en el mismo tiempo.

La tercera ley expresa finalmente que, de dos móviles que partan del reposo y alcancen igual velocidad, el que tenga una aceleración dos, tres, etcétera, veces mayor, tardará un tiempo mitad, tercera parte, etc.

A las fórmulas del movimiento uniformemente variado, ya conocidas que relacionan la velocidad, con la aceleración y el tiempo, puede añadirse otra que relaciona la aceleración y el tiempo con el espacio recorrido. Esta fórmula se deduce de un modo muy sencillo.

Según sabemos, en el movimiento uniforme el espacio se halla multiplicando la velocidad del móvil por el tiempo invertido en recorrerlo. Esta fórmula tan sencilla se puede aplicar a cualquier movimiento sin más que tener en cuenta que la velocidad que se ha de poner en la misma, es la velocidad media. Por tanto, en el movimiento uniformemente acelerado, el espacio recorrido por el móvil en el tiempo t será:

$$e = v_m \cdot t$$

Pero tratándose de un movimiento uniformemente variado, la velocidad media se halla sumando la velocidad en el primer momento con la velocidad final y dividiendo por dos, y si además suponemos que el móvil parte del reposo, y por tanto la velocidad inicial es cero, será:

$$v_m = \frac{0 + v}{2} = \frac{v}{2}$$

y como según sabemos la velocidad final tiene el valor $v = a \cdot t$, tendremos:

$$e = v_m \cdot t = \frac{v}{2} \cdot t = \frac{a \cdot t}{2} \cdot t = \frac{1}{2} a\, t^2$$

es decir, que el espacio viene dado por la fórmula:

$$e = \tfrac{1}{2}\ a\ t^2$$

Esta última fórmula expresa que en el movimiento uniformemente variado, el espacio recorrido por el móvil, cuando parte del reposo, es igual a la mitad de la aceleración por el cuadrado del tiempo invertido.

En dicha fórmula están expresadas las dos últimas leyes del movimiento uniformemente variado, que son las siguientes:

4.ª *El espacio es proporcional a la aceleración.*

5.ª *El espacio es proporcional al cuadrado del tiempo.*

La cuarta ley significa que el espacio recorrido por un móvil con movimiento uniformemente variado en un tiempo dado, es dos, tres, etc., veces mayor, cuando su aceleración es doble, triple, etc.

La última, por fin, indica que el espacio recorrido por un móvil con aceleración constante, crece con el cuadrado del tiempo, es decir, que si el tiempo es dos, tres, cuatro, etc., veces mayor, el espacio se hace cuatro, nueve, dieciséis, etc., veces mayor.

Representaciones gráficas. — En general, cuando dos magnitudes están relacionadas de forma que toda variación de una de ellas lleva consigo la variación de la otra, puede representarse gráficamente la variación de la primera según la variación de la segunda. Así sucede con el espacio y el tiempo, donde a cada valor de éste corresponde un valor del espacio.

Para representar gráficamente la variación del espacio al variar el tiempo, se empieza por hallar una serie de valores del espacio para distintos valores del tiempo, formándose así una tabla de valores.

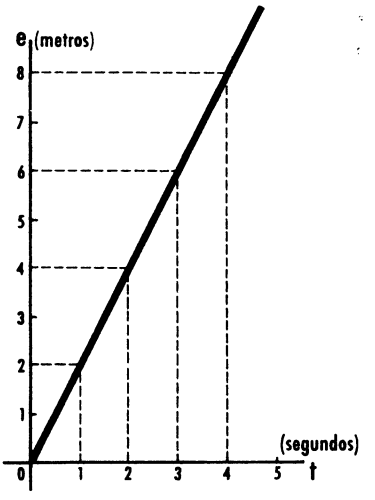
Supongamos que queremos representar un movimiento uniforme en que el móvil tiene una velocidad constante de 2 metros por segundo. La fórmula de este movimiento será: $e = 2 \cdot t$, y de ella se deduce la siguiente tabla de valores:

Para	$t = 0,$	$e = 0$
»	$t = 1,$	$e = 2$
»	$t = 2,$	$e = 4$
»	$t = 3,$	$e = 6$

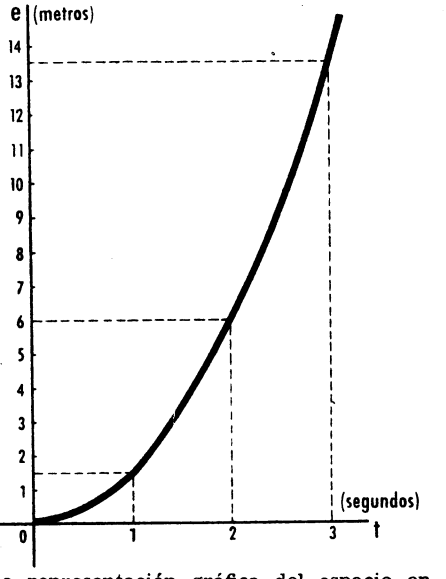
A continuación se trazan dos líneas perpendiculares, llamadas ejes de coordenadas cartesianas, y a partir del punto en que se cortan, denominado origen, se toman segmentos iguales en uno y otro eje, numerando los puntos obtenidos. Los valores del tiempo se representan en el eje horizontal o de abscisas, y los del espacio en el eje vertical o de ordenadas.

Tomando los valores de la tabla dos a dos (uno de t y otro de e), se trazan paralelas a los ejes por los puntos correspondientes y los puntos

de intersección de éstas se unen mediante un trazo continuo, que es la gráfica buscada. Esta línea o gráfica indica la variación del espacio a medida que varía el tiempo. Si la velocidad es muy grande, el espacio aumenta rápidamente al avanzar el tiempo, y la recta obtenida está muy inclinada; si la velocidad es pequeña, el espacio crece lentamente y la gráfica obtenida tiene muy poca pendiente.



La representación gráfica del espacio en función del tiempo en el movimiento uniforme es una recta.



La representación gráfica del espacio en función del tiempo en el movimiento uniformemente acelerado es una parábola.

En el movimiento rectilíneo y uniforme, la gráfica de la variación del espacio en función del tiempo es una línea recta cuya inclinación es tanto mayor cuanto mayor es la velocidad.

En el movimiento uniformemente acelerado, para representar gráficamente la variación del espacio en función del tiempo, empezaremos por formar, como en el caso del movimiento uniforme, una tabla de valores del tiempo y del espacio.

En un movimiento cuya aceleración valga 3 m/seg/seg, la fórmula del espacio será:

$$e = \tfrac{1}{2} \cdot 3 \cdot t^2$$

Por tanto, si damos a t los valores 0, 1, 2, 3..., obtendremos la tabla siguiente:

$$\text{Para } t = 0 \qquad e = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 0 = 0$$

$$\text{Para } t=1 \qquad e=\frac{1}{2}\cdot 3\cdot 1=\frac{3}{2}=1{,}5$$

$$\text{» } t=2 \qquad e=\frac{1}{2}\cdot 3\cdot 2^2=\frac{3\times 4}{2}=6$$

$$\text{» } t=3 \qquad e=\frac{1}{2}\cdot 3\cdot 3^2=\frac{3\times 9}{2}=13{,}5$$

Llevando estos valores a un sistema de coordenadas, tomando los tiempos en el eje de abscisas y los espacios en el de ordenadas, se obtienen varios puntos que, unidos, dan la gráfica correspondiente.

En el movimiento uniformemente acelerado, la gráfica de la variación del espacio en función del tiempo es una parábola.

Movimiento de caída de los cuerpos. — *Los cuerpos abandonados a la acción de la gravedad, caen según una dirección fija en cada punto, que se llama vertical, y lo hacen con un movimiento uniformemente acelerado.*

La aceleración de caída de los cuerpos no es igual en todos los puntos de la tierra, aunque la variación de unos a otros es pequeña. El valor de esa aceleración *en Madrid es de 9,80 m/seg/seg,* lo que quiere decir que, cuando un cuerpo cae libremente en el espacio, su velocidad aumenta 9,80 metros por segundo en cada segundo.

Así, por ejemplo: si en un momento dejamos caer un cuerpo ($v=0$), al cabo de un segundo su velocidad será de 9,80 metros por segundo. Al cabo de dos segundos, su velocidad será de $9{,}80+9{,}80=19{,}60$ metros por segundo. Después de tres segundos, la velocidad del cuerpo será $19{,}60+9{,}80=29{,}40$ metros por segundo, etc.

Llamando g a la aceleración de la gravedad, la velocidad al cabo de un tiempo t será:

$$v=g\cdot t$$

de donde:

$$g=\frac{v}{t} \qquad \text{y} \qquad t=\frac{v}{g}$$

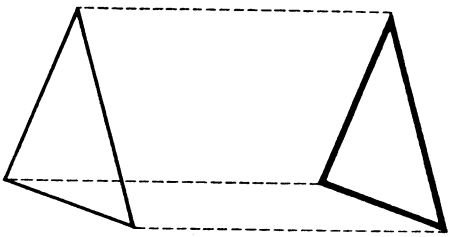
tal como indicamos anteriormente para el movimiento uniforme variado, siendo igualmente aplicables las leyes allí enunciadas.

El espacio recorrido al cabo de un tiempo t, por un cuerpo que cae libremente en el espacio, viene dado por la fórmula:

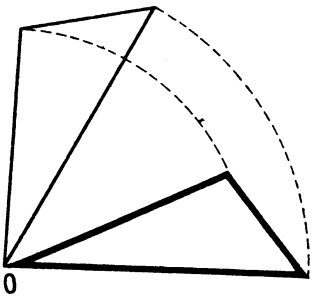
$$e=\tfrac{1}{2}\,g\cdot t^2$$

donde g es la aceleración de la gravedad en el lugar que se experimenta.

Movimientos de un sólido. — Así como el movimiento de un punto no puede consistir más que en una traslación, para un sólido existen dos clases de movimientos: traslaciones y rotaciones.



En el movimiento de traslación todos los puntos del móvil describen trayectorias rectilíneas paralelas e iguales.



En el movimiento de rotación todos los puntos del móvil describen circunferencias concéntricas de longitud proporcional a la distancia al eje de giro.

Se dice que un sólido tiene un movimiento de traslación, cuando todos sus puntos se trasladan paralelamente recorriendo trayectorias rectas de igual longitud.

Se dice que un sólido tiene un movimiento de rotación, cuando está obligado a girar alrededor de una recta fija. En este caso todos los puntos del sólido mantienen fijas sus distancias a la recta que sirve de eje de giro, describiendo circunferencias alrededor de ella.

El movimiento de un vagón de tren sobre una vía recta es un movimiento de traslación. El movimiento de una rueda o volante alrededor de su eje es un movimiento de rotación.

Se puede demostrar que, en general, *cualquier movimiento de un sólido, puede reducirse a un movimiento de traslación y otro de rotación consecutivo.*

Ejercicios

Defínase la velocidad media de un móvil y dígase qué diferencia hay entre velocidad media y velocidad instantánea o verdadera.

Definir el movimiento rectilíneo y uniforme y enunciar sus leyes.

Defínase la aceleración media de un móvil y dígase qué diferencia hay entre aceleración media y aceleración instantánea o verdadera.

Definir el movimiento uniformemente variado y enunciar sus leyes.

Problemas

1. Desde que se ve un relámpago hasta que se oye el trueno transcurren 5 segundos. ¿A qué distancia de nosotros se ha producido el relámpago? (Velocidad del sonido 340 m/seg.)

2. Un tranvía marcha a 36 km/hora. Frena y queda detenido en 5 segundos. ¿Cuál será su aceleración media en ese tiempo?

3. Un cuerpo cae libremente en el espacio (la aceleración de la gravedad es $g = 9{,}8$ m/seg./seg.). ¿Qué espacio recorrerá en 10 segundos de caída? ¿Cuánto tiempo tardaría en recorrer 1960 metros?

4. Escribir la fórmula y representar gráficamente el espacio en función del tiempo, en un movimiento uniformemente acelerado en que $a = 5$ m/seg./seg.

3. LA FUERZA COMO VECTOR. COMPOSICIÓN Y DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS

Fuerzas. — Al levantar un cuerpo, al empujar una vagoneta para ponerla en movimiento, o para detenerla si está en marcha, al deformar un muelle de acero, realizamos un esfuerzo muscular que nos hace adquirir el concepto de fuerza.

Se llama fuerza a toda causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo o de producirle una deformación.

Si un cuerpo está en reposo y en un momento dado se pone en movimiento, podemos afirmar que sobre él ha actuado una fuerza. Lo mismo diremos si un cuerpo en movimiento cambia en un instante de dirección o aumenta o disminuye su velocidad. También decimos que sobre un cuerpo actúa una fuerza cuando vemos que sufre una deformación.

Ejemplos de fuerzas son: la del caballo que pone en movimiento un carro al que está enganchado; el golpe de un taco sobre una bola de billar; el golpe de ésta sobre la banda de la mesa, bajo cuya acción se deforma.

Unidades de fuerza. — Las fuerzas son magnitudes medibles y para medirlas se usan las siguientes unidades:

En el Sistema Técnico la unidad de fuerza es el kilo-peso, que se definió ya (pág. 11) como el peso de un cilindro de platino (kilo patrón) que se conserva en la Oficina Internacional de pesas y medidas, en París. Este peso es aproximadamente igual al de un dm^3 de agua pura, medido a cuatro grados centígrados.

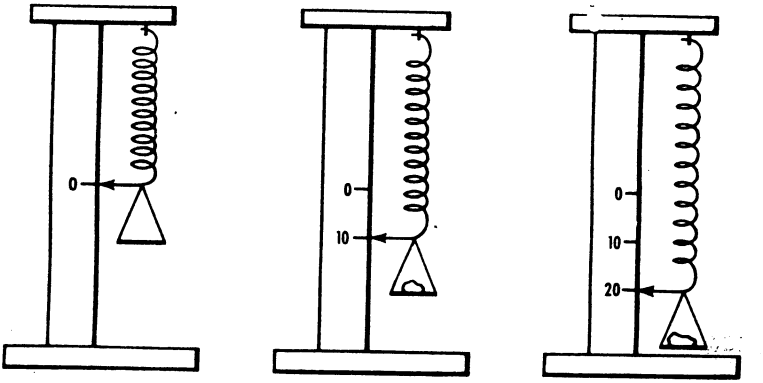
La unidad de fuerza en el Sistema Cegesimal recibe el nombre de dina, y la unidad de fuerza del Sistema Giorgi el de newton.

No podemos dar aquí la definición de estas unidades, pero indicaremos sus relaciones con el kilo peso, que son las siguientes:

$$1 \text{ dina} = \frac{1 \text{ kilo-peso}}{981\,000} \qquad \text{y} \qquad 1 \text{ newton} = \frac{1 \text{ kilo-peso}}{9{,}81}$$

es decir, que la dina es 981 000 veces menor que el kilo-peso (aproximadamente igual a 1 miligramo de peso) y el newton es 9,81 veces menor que el kilo-peso (aproximadamente igual a 100 gramos peso). Un newton es igual a 100 000 dinas.

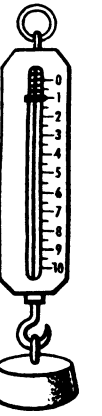
Medida de fuerzas. — *Las fuerzas pueden medirse por comparación del efecto que producen, con el de la fuerza unidad.*



El alargamiento de un muelle elástico es proporcional a la fuerza (o peso) que actúa sobre él.

Para medir una fuerza se compara la deformación que produce sobre un muelle elástico con la producida por la fuerza unidad, admitiéndose que la deformación (alargamiento) producida es proporcional a la fuerza deformadora y que fuerzas iguales producen deformaciones iguales.

Los aparatos para medir fuerzas se llaman *dinamómetros.*



En el dinamómetro, el índice señala directamente sobre la escala el peso del cuerpo.

En esencia, un dinamómetro consta de un muelle de acero, fijo por un extremo, que lleva en el otro un índice que se mueve frente a una regla graduada y un gancho para colgar las fuerzas o pesos que se quieran medir. Si dos fuerzas actúan sucesivamente sobre este muelle y producen en él iguales deformaciones, decimos que ambas fuerzas son iguales. Si una produce una deformación del muelle doble o triple que la otra, decimos que aquélla fuerza es doble o triple que ésta.

Para construir un dinamómetro graduado se señala con un cero la división de la regla donde queda el índice cuando el muelle está en estado normal (sin estirar). Después se cuelgan del gancho sucesivamente uno, dos, tres, etc., kilos y los puntos que va indicando el índice sobre la regla se numeran también sucesivamente, 1, 2, 3, etc.

Este aparato sirve para determinar el valor de pesos desconocidos, ya que cuando éstos actúen sobre el muelle, el índice indicará el valor del peso, que podrá leerse directamente sobre la regla.

Magnitudes escalares y vectoriales. — Algunas magnitudes se determinan perfectamente con sólo dar su medida. Así ocurre con la masa de los cuerpos y con el tiempo. Si decimos que un cuerpo tiene una masa de un kilo, dejamos perfectamente determinada esa magnitud, y lo mismo sucede si decimos que un fenómeno cualquiera duró diez segundos.

Otras magnitudes no quedan bien determinadas expresando sólo su medida, como ocurre con la fuerza y la velocidad. No basta decir que sobre un cuerpo actúa una fuerza de cinco kilos para darse cuenta exacta del efecto producido por esa fuerza; hay que decir al mismo tiempo la dirección y el sentido en que actúa.

Las magnitudes que pueden determinarse perfectamente con un solo dato se llaman magnitudes escalares.

Las magnitudes que requieren para su perfecta determinación tres datos: valor numérico, dirección y sentido. reciben el nombre de magnitudes vectoriales.

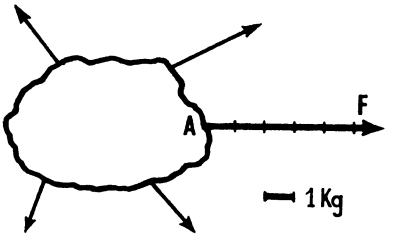
Las fuerzas son magnitudes vectoriales.

Representación de las fuerzas. — Las fuerzas como todas las magnitudes vectoriales *se representan por vectores.*

Un vector es un segmento de recta, al que se asigna un sentido señalando uno de sus extremos con una punta de flecha. El extremo opuesto se llama origen del vector.

Para que un vector represente una fuerza debe tener su origen en el punto donde se aplica la fuerza; su dirección y su sentido deben coincidir con la dirección y sentido de la fuerza, y su longitud debe ser proporcional a la intensidad de la fuerza.

Así, si sobre el cuerpo de la figura actúa horizontalmente en el punto *A* una fuerza en sentido de izquierda a derecha, con una intensidad de



Si sobre este cuerpo actúa una fuerza en sentido horizontal de izquierda a derecha, aplicada en el punto *A* y de intensidad igual a 6 kg, dicha fuerza se representa por *F* y no por algún otro vector representado en la figura.

seis kilos, dicha fuerza se representará por el vector *F* y no por algún otro de los representados en la figura.

Sistema de fuerzas. Resultante de un sistema de fuerzas. — Sobre un punto o sobre un sólido, pueden actuar simultáneamente varias fuerzas. Así, por ejemplo, cuando se enganchan a un carro varias caballerías, cada una de ellas ejerce una fuerza y todas ellas actúan sobre el carro.

Recibe el nombre de sistema de fuerzas, el conjunto de ellas que actúa simultáneamente sobre un punto o sobre un cuerpo.

En general, cuando sobre un cuerpo actúan varias fuerzas, puede hallarse una sola que sea capaz de producir el mismo efecto que aquéllas.

Se llama resultante de un sistema de fuerzas, otra fuerza que por sí sola sea capaz de producir el mismo efecto que todo el sistema dado. El problema de hallar la resultante de un sistema de fuerzas, recibe el nombre de composición de fuerzas.

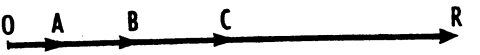
En el problema de la composición de fuerzas se distinguen los casos que estudiaremos a continuación.

Composición de fuerzas concurrentes. — *Son fuerzas concurrentes las que tienen el mismo punto de aplicación o cuyas direcciones se cortan en un punto.* En este último caso, deslizándose convenientemente en su propia dirección, pueden tener el mismo punto de aplicación.

Pueden darse los casos siguientes:

a) *Fuerzas que tienen el mismo punto de aplicación, la misma dirección y el mismo sentido.* La resultante del sistema es una fuerza que tiene el mismo punto de aplicación, la misma dirección y el mismo sentido, y una intensidad igual a la suma de las intensidades de las fuerzas componentes del sistema.

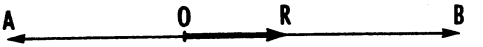
Así, por ejemplo, las fuerzas *OA, OB* y *OC,* de la figura siguiente, que tienen el mismo punto de aplicación *O,* la misma dirección y el mismo



Las fuerzas *OA*, *OB* y *OC*, de igual dirección y sentido, tienen como resultante la fuerza *OR*.

sentido, tienen como resultante la fuerza *OR*, que tiene igual punto de aplicación, la misma dirección y el mismo sentido, y una intensidad que es la suma de las intensidades de las componentes.

b) *Dos fuerzas que tienen el mismo punto de aplicación y la misma dirección, pero que tienen sentido contrario.* La resultante es una fuerza que tiene el mismo punto de aplicación y la misma dirección que las componentes, el sentido de la mayor y una intensidad igual a la diferencia de las intensidades de las componentes.

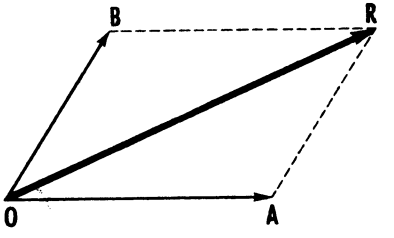


Las fuerzas *OA* y *OB*, de igual dirección y sentido contrario, tienen como resultante la fuerza *OR*.

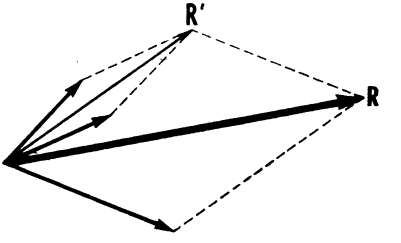
Las fuerzas *OA* y *OB* de la figura siguiente tienen por resultante la fuerza *OR*, que tiene igual punto de aplicación y la misma dirección, el sentido de la fuerza mayor *OB* y una intensidad igual a la diferencia de las intensidades de *OB* y *OA*.

c) *Fuerzas concurrentes de diferente dirección.* La resultante de dos fuerzas concurrentes de diferente dirección, es la diagonal del paralelogramo construido con las fuerzas concurrentes como lados y que tiene como origen el mismo de las componentes.

Para hallar la resultante de las fuerzas *OA* y *OB* se completa el paralelogramo del que ellas serían lados. La fuerza *OR*, que tiene el mismo origen que las componentes y es diagonal del paralelogramo, es la resultante buscada.



La resultante de dos fuerzas concurrentes de distinta dirección es la diagonal del paralelogramo construido con aquellas fuerzas como lados.



Cuando existen varias fuerzas concurrentes, se componen dos y su resultante se compone con la tercera, y así sucesivamente. La última resultante hallada es la de todo el sistema.

Si existen más de dos fuerzas concurrentes, se halla la resultante de dos de ellas; ésta se compone con la tercera fuerza, y así sucesivamente, hasta hallar la última resultante, que será la de todo el sistema.

Composición de fuerzas paralelas. — Lo mismo que en el caso de fuerzas concurrentes, en un sistema de fuerzas paralelas puede hallarse una sola fuerza o resultante que tenga el mismo efecto que todas las que constituyen el sistema. Si es un sistema de más de dos fuerzas, se busca la resultante de dos de ellas, luego se compone ésta con la tercera, y así sucesivamente hasta encontrar la última resultante, que será la del sistema.

Pueden darse los dos casos siguientes:

a) *Fuerzas paralelas del mismo sentido.*

La resultante de dos fuerzas paralelas del mismo sentido es una fuerza paralela a ellas, cuya intensidad es la suma de sus intensidades, y cuyo punto de aplicación es un punto de la recta que une los puntos de aplicación de las componentes y la divide en partes inversamente proporcionales a las fuerzas MA y NB, es decir, que

$$\frac{MA}{NB} = \frac{ON}{OM}$$

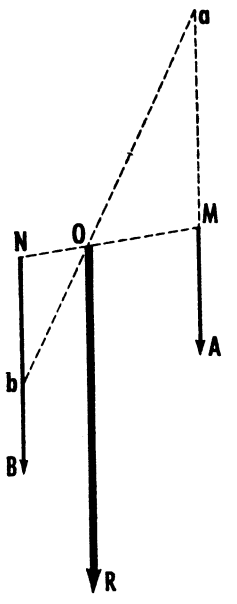
Para hallar el punto de aplicación de la resultante, se unen los puntos de aplicación de las componentes. Después se lleva una longitud igual a la de la fuerza más pequeña sobre la mayor, a partir de su origen, y de la misma manera, la fuerza mayor en sentido contrario a la menor. Se unen los puntos a y b mediante una recta y el punto O, donde esta recta corta a la MN, es el punto de aplicación de la resultante.

b) *Fuerzas paralelas y de sentidos contrarios.*

La resultante de dos fuerzas paralelas de sentidos contrarios es otra fuerza paralela a ellas, de sentido igual a la mayor, de intensidad igual a la diferencia de intensidades de las componentes, y cuyo punto de aplicación está situado sobre la recta que une los puntos de aplicación de las componentes, fuera del segmento determinado por ellos, más próximo a la mayor y en un punto cuyas distancias a los puntos de aplicación de las componentes están en razón inversa a las fuerzas respectivas.

Así, la resultante de las fuerzas MA y NB es OR, paralela a ellas, que tiene el sentido de la mayor y una intensidad igual a la diferencia de las intensidades de las componentes. Su punto de aplicación está en la prolongación de la recta que une los de las componentes, de forma que los segmentos MO y NO guardan la relación

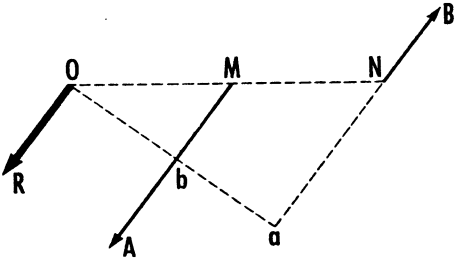
$$\frac{MA}{NB} = \frac{ON}{OM}$$



La fuerza *OR* es la resultante de las fuerzas paralelas *MA* y *NB*.

Para determinar el punto de aplicación de la resultante, se unen los puntos de aplicación de las componentes y se prolonga por el lado de la mayor. Se lleva la fuerza menor sobre la mayor en su mismo sentido, y la mayor sobre la menor en sentido contrario. Se unen los puntos así determinados por una recta, que se prolonga hasta encontrar la prolongación de la *MN*. El punto donde estas dos rectas se encuentran es el punto de aplicación de la resultante.

La demostración de todas las reglas dadas para determinar la resultante de un sistema de fuerzas quedará para otro curso.



La fuerza *OR* es la resultante de las fuerzas paralelas y de sentido contrario *MA* y *NB*.

Par de fuerzas. Momento de un par de fuerzas. — *Se llama par de fuerzas a dos fuerzas paralelas iguales y de sentidos contrarios.*

Si se quiere hallar la resultante de dos fuerzas como éstas siguiendo las instrucciones dadas anteriormente, se observa que su punto de apli-

cación se encontraría en el infinito y su intensidad sería nula, lo que equivale a decir que no hay resultante.

No hay ninguna fuerza que por sí sola pueda hacer el mismo efecto que un par de fuerzas. Efectivamente, un par de fuerzas produce una rotación.

Se llama momento de un par de fuerzas, al producto de una de las fuerzas por la distancia entre ellas. Un par de fuerzas puede sustituirse por otro cualquiera en su mismo plano que tenga el mismo momento sin que se altere el efecto producido.

Descomposición de fuerzas. — *La descomposición de fuerzas no es posible siempre, sino que depende de las condiciones que se fijan.*

Para descomponer una fuerza en dos concurrentes, se la considera como diagonal de un paralelogramo. Pero como una recta dada puede ser diagonal de infinidad de paralelogramos, el problema es indeterminado, a no ser que se fijen algunas condiciones, como el valor de las fuerzas componentes, o de una de ellas, y el ángulo que forman, etc.

Lo mismo sucede cuando se trata de descomponer una fuerza en otras dos paralelas. Hay que conocer el valor de las componentes, las distancias de las fuerzas buscadas a la fuerza dada, etc.

Ejercicios

¿Qué son fuerzas? ¿Cuáles son las unidades de fuerza y qué relación hay entre ellas?

Construir un dinamómetro, valiéndose de un muelle y una regla, graduándolo luego mediante las masas de una caja de pesas.

Dibujar tres fuerzas concurrentes y hallar su resultante.

Dibujar dos fuerzas paralelas y de igual dirección y hallar su resultante.

Dibujar dos fuerzas paralelas y de sentidos contrarios y hallar su resultante.

Problemas

1. El muelle de un dinamómetro se alarga 9 mm cuando del mismo pende un peso de 100 g. ¿Qué peso soportará dicho dinamómetro cuando su alargamiento sea de 27 mm?

2. Dos obreros transportan un peso de 120 kg colgado de una barra de 2 m cuyos extremos apoyan en sus hombros. Si el peso está situado a 50 cm de un extremo y 1,50 m del otro, ¿qué peso soporta cada obrero? ¿Qué peso soportaría cada obrero si el peso estuviese en la mitad de la barra?

4. GRAVITACIÓN Y GRAVEDAD

Ley de la gravitación universal. — Desde muy antiguo se sabe que la trayectoria que describen los planetas alrededor del Sol es elíptica. Para que esto sea posible, es necesario que el Sol tenga una fuerza de atracción sobre los planetas. En el siglo XVI, el astrónomo Kepler, basándose únicamente en sus observaciones astronómicas, formuló tres leyes, por las cuales se rigen los planetas en sus movimientos alrededor del Sol.

Posteriormente, Newton, basándose en las leyes de Kepler y en los principios de la Dinámica, demostró que los planetas están sometidos a una fuerza de atracción por parte del Sol, que es la que les obliga a cambiar de dirección continuamente, y enunció la ley de la gravitación universal que dice:

Dos cuerpos cualesquiera se atraen con una fuerza proporcional al producto de sus masas y en razón inversa al cuadrado de su distancia.

Esta ley se expresa por la fórmula

$$f = k \cdot \frac{m \cdot m'}{d^2}$$

donde k es una constante llamada constante de gravitación.

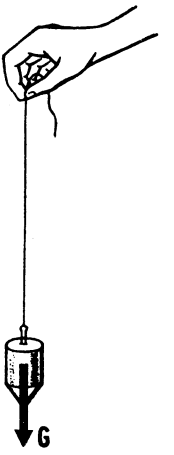
La ley de la gravitación universal o de Newton es la base de la mecánica celeste. Contiene implícitas las tres leyes de Kepler, que pueden deducirse de la fórmula anterior. Sin embargo, el mérito de Kepler está en haber enunciado sus leyes antes de que Newton descubriera la ley de la gravitación.

Gravedad. — Todos los cuerpos situados sobre la superficie de la Tierra caen hacia ella, si se abandonan libremente, lo que demuestra que son atraídos por una fuerza dirigida al centro de la Tierra. Esta fuerza de atracción que la Tierra ejerce sobre todos los cuerpos situados en su superficie es una manifestación de la gravitación universal, que en este caso se efectúa entre la Tierra y un cuerpo cualquiera.

Se llama gravedad a la fuerza de atracción que la Tierra ejerce sobre los cuerpos que se encuentran cerca de ella.

La fuerza de la gravedad se caracteriza en cada lugar de la Tierra por su intensidad, dirección y sentido.

La dirección y el sentido de la fuerza de gravedad en cada punto vienen determinados por la plomada.



La *dirección* de la fuerza de la gravedad viene dada por la plomada y se conoce con el nombre de vertical del lugar. El *sentido* es el de caída de los cuerpos, es decir, hacia el centro de la Tierra. La *intensidad* de la gravedad en un punto determinado es el valor de la fuerza ejercida sobre la unidad de masa colocada en dicho punto. Para conocerla, bastaría colocar una masa de un gramo en el punto donde se quiere averiguar la intensidad de la gravedad y determinar mediante un diámetro el valor de la fuerza con que la Tierra le atrae. En Madrid vale 980 dinas.

Peso de un cuerpo. — *Se llama peso de un cuerpo al valor de la fuerza con que la Tierra atrae a dicho cuerpo.*

La fórmula de la gravitación universal aplicada al caso de la Tierra y un cuerpo cualquiera de masa m situado sobre ella será:

$$p = k \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$$

donde M es la masa de la Tierra, R el radio de la misma, y p el valor de la fuerza de atracción o peso del cuerpo.

En la fórmula anterior M y k son constantes, y R sensiblemente también, por lo que puede expresarse abreviadamente:

$$p = \text{cte} \cdot m$$

que nos indica que *el peso de un cuerpo es proporcional a su masa.*

Variación del peso de los cuerpos. — La Tierra no es completamente esférica, sino achatada por los polos y ensanchada por el Ecuador. Así.

pues, su radio no es constante: es mayor para los puntos del Ecuador que para los de los polos.

De la fórmula anterior se deduce, por tanto, que el peso de un cuerpo sólo será constante dentro de espacios pequeños, en los que pueda considerarse constante el radio de la Tierra, y será distinto para puntos de la Tierra de radio diferente. Se deduce, por tanto, que:

Los cuerpos pesan más en los polos que en el Ecuador.

Si un cuerpo se encuentra a una altura l sobre la superficie de la Tierra, su peso se puede hallar por la fórmula:

$$p = k \cdot \frac{M \cdot m}{(R + l)^2}$$

Por lo tanto, cuanto mayor sea l, mayor será el denominador de la fracción y menor el valor del cociente, de donde se deduce que: *El peso de un cuerpo disminuye a medida que se eleva sobre la superficie de la Tierra.*

Diferencia entre peso y masa de un cuerpo. — La masa de un cuerpo es la cantidad de materia que contiene y, como tal, es invariable.[1]

El peso de un cuerpo es la fuerza con que la Tierra lo atrae, y varía con la posición del cuerpo sobre la superficie de la Tierra.

La unidad de masa es el *kilo masa*; es la masa contenida en un cilindro de platino iridiado que se conserva en París, o, aproximadamente, la contenida en un decímetro cúbico de agua destilada a la temperatura de cuatro grados centígrados.

La unidad de peso es el *kilo peso*; es la fuerza con que la Tierra atrae en París al kilogramo masa. En otro sitio cualquiera el peso del kilogramo masa puede ser diferente de un kilo peso.

Centro de gravedad. — La fuerza de la gravedad actúa sobre cada una de las partículas materiales que componen los cuerpos, las cuales están dirigidas hacia el centro de la Tierra, y por tanto, pueden considerarse fuerzas paralelas que forman un sistema cuya resultante es el peso total del cuerpo.

El punto de aplicación de esa resultante se llama *centro de gravedad* del cuerpo. El centro de gravedad de un cuerpo no varía aunque cambie su posición.

Equilibrio de los cuerpos pesados. — Según hemos dicho, el peso de un cuerpo es una fuerza que tiene su punto de aplicación en el centro de gravedad. Cuando dicha fuerza actúa sobre el cuerpo, abandonado libremente

1. Esta definición no es correcta. En Dinámica se estudia que la masa es un coeficiente de proporcionalidad constante para cada cuerpo, entre la fuerza que se le aplica y la aceleración que adquiere.

a ella, éste cae hacia el suelo verticalmente. Pero si el cuerpo se encuentra limitado en su libertad de movimientos por determinadas ligaduras, puntos de apoyo, etc., su peso se encuentra neutralizado por la resistencia de los soportes y no cae. Se dice que queda en equilibrio.

Un cuerpo está en equilibrio cuando sometido a varias fuerzas permanece en reposo.

Así se encuentra en equilibrio una silla apoyada en sus cuatro patas sobre el suelo o colgada mediante una cuerda del techo; también puede quedar en equilibrio apoyándose sobre una sola de sus patas, aunque esto resulta sumamente difícil. En todo caso, la silla se encuentra sometida a su propio peso y a las resistencias de los puntos de apoyo que lo neutralizan.

Clases de equilibrio. — Si se observan diferentes cuerpos en equilibrio, se comprueba fácilmente que éste puede ser de varias clases.

Una plomada suspendida mediante el hilo está en equilibrio. Si la empujamos ligeramente en sentido horizontal, empieza a oscilar hasta que, amortiguándose poco a poco las oscilaciones, queda de nuevo en equilibrio en la misma posición que tenía.

Un cono de madera puede quedar en equilibrio apoyándose por su vértice sobre una mesa, aunque sabemos que esto es muy difícil. Si una vez conseguido se le empuja débilmente en cualquier dirección, cae bruscamente y no recupera la posición que tenía.

Observemos ahora una veleta en un día de completa calma. Se encuentra en equilibrio señalando una dirección determinada. Si la empujamos en una dirección cualquiera, gira y queda de nuevo quieta, en equilibrio.

Cuando un cuerpo se encuentra en una posición de equilibrio y, sacado de ella, tiende a recuperarla, se dice que está en equilibrio estable.

Cuando un cuerpo se encuentra en una posición de equilibrio y, sacado de ella, se aparta completamente de la misma sin volver a recuperarla, se dice que está en equilibrio inestable.

Cuando un cuerpo se encuentra en una posición de equilibrio y queda también en equilibrio cuando pasa de esa posición a otras posiciones próximas, se dice que se encuentra en equilibrio indiferente.

En el estudio de las condiciones de equilibrio de los cuerpos se distinguen tres casos, según que el cuerpo esté suspendido de uno de sus puntos, esté obligado a girar alrededor de un eje fijo o se encuentre apoyado sobre una superficie.

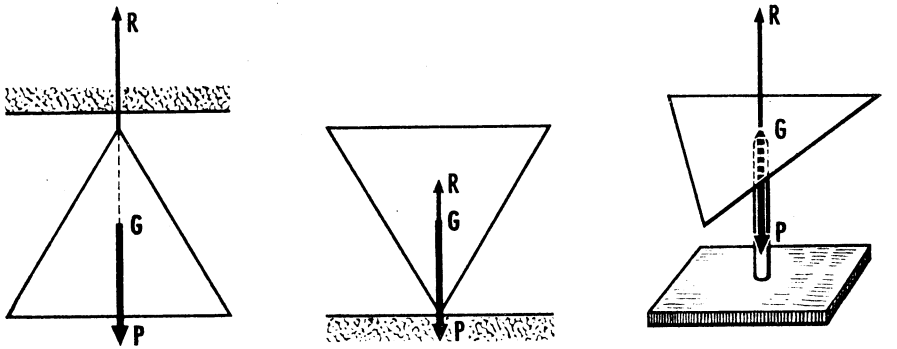
Equilibrio de un cuerpo suspendido de un punto fijo. — En este caso el cuerpo se encuentra sometido a dos fuerzas iguales: una es su propio peso, aplicado en el centro de gravedad, y otra es la reacción que se produce en el punto de suspensión. Por tanto, para que el cuerpo se encuentre en

equilibrio es preciso que ambas fuerzas se anulen y ello sucede, según sabemos, cuando las dos tienen la misma dirección y sentidos contrarios. Por tanto, *un cuerpo suspendido de un punto se encuentra en equilibrio cuando su centro de gravedad y el punto de suspensión se encuentran en la misma vertical.*

Pero estando el centro de gravedad en la vertical del centro de suspensión pueden darse tres casos: *a*) que el centro de gravedad esté debajo del punto de suspensión, *b*) que el centro de gravedad esté encima del punto de suspensión y *c*) que el centro de gravedad y el punto de suspensión coincidan.

a) *Si el centro de gravedad se encuentra en la vertical del punto de suspensión y debajo de él, el cuerpo está en equilibrio estable.* Es el caso de la plomada suspendida mediante un hilo: entonces al desviarla de su posición de equilibrio tiende a volver a su posición anterior y, tras algunas oscilaciones, el equilibrio se restablece en las mismas condiciones que antes.

b) *Cuando el centro de gravedad está en la vertical del punto de suspensión y por encima de él, el cuerpo está en equilibrio inestable.* Es el caso de un cono apoyado por su vértice: en este caso al empujarlo ligeramente gira rápidamente y tiende a colocarse en equilibrio estable, es decir, de forma que el centro de gravedad quede en la vertical del punto de suspensión pero debajo de él.



Cuando el centro de gravedad y el punto de suspensión de un cuerpo están en la misma vertical, el cuerpo se encuentra en equilibrio; si el centro de gravedad está debajo del punto de suspensión (1.ª fig.), el equilibrio es estable; si está sobre el punto de suspensión (2.ª fig.), el equilibrio es inestable, y si ambos puntos coinciden (3.ª fig.), el equilibrio es indiferente.

c) *Cuando el centro de gravedad coincide con el punto de suspensión, el cuerpo se encuentra en equilibrio indiferente.* Es el caso de una plancha metálica circular suspendida por su centro. En tal caso si se hace girar

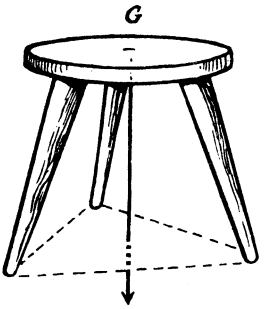
de todos modos el centro de gravedad y el punto de suspensión están en la misma vertical.

Equilibrio de un cuerpo móvil alrededor de un eje. — *Un cuerpo que se halla ligado a una recta o eje fijo, alrededor del cual puede girar, se encuentra en equilibrio cuando la vertical de su centro de gravedad pasa por el eje de giro.*

Si el centro de gravedad se encuentra en la vertical que pasa por el eje de giro y por encima de él, el cuerpo se encuentra en equilibrio inestable. Cuando estando en aquella vertical está debajo del eje se encuentra en equilibrio estable. Cuando la vertical del centro de gravedad es paralela al eje de giro, el cuerpo se encuentra en equilibrio indiferente.

Equilibrio de un cuerpo apoyado sobre un plano horizontal. — Un cuerpo se apoya sobre un plano mediante una serie de puntos. El polígono formado por algunos de ellos de forma que queden incluidos en él todos los demás recibe el nombre de polígono o base de sustentación.

Para que un cuerpo apoyado sobre un plano horizontal se encuentre en equilibrio, es necesario que la vertical que pasa por su centro de gravedad pase por la base de sustentación.



Un cuerpo apoyado sobre varios puntos está en equilibrio estable cuando la vertical de su centro de gravedad pasa por dentro del polígono de sustentación.

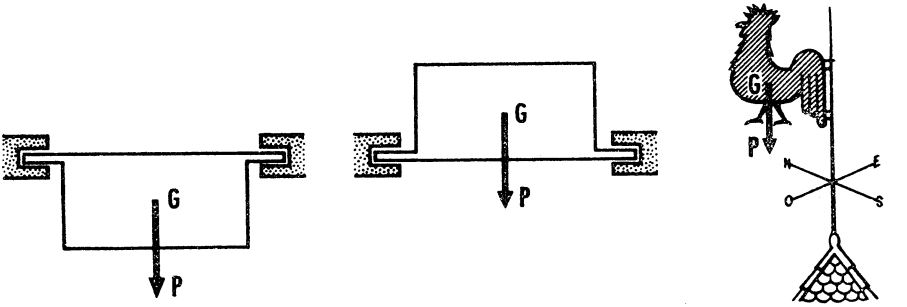
El centro de gravedad del cuerpo humano está colocado, aproximadamente, delante de la décima vértebra dorsal. Para que una persona se mantenga en equilibrio de pie, es preciso que la vertical que pasa por su centro de gravedad pase por el polígono de sustentación definido por la posición de sus pies. Por esto, si un hombre se carga un fardo a la espalda, el centro de gravedad se coloca hacia atrás y para conservar el equilibrio ha de inclinarse hacia delante.

Condiciones generales de equilibrio.— Puede resumirse lo anteriormente expuesto diciendo que:

Un cuerpo se encuentra en equilibrio estable cuando su centro de gravedad ocupa la posición más baja posible.

Un cuerpo se encuentra en equilibrio inestable cuando su centro de gravedad ocupa la posición más alta posible.

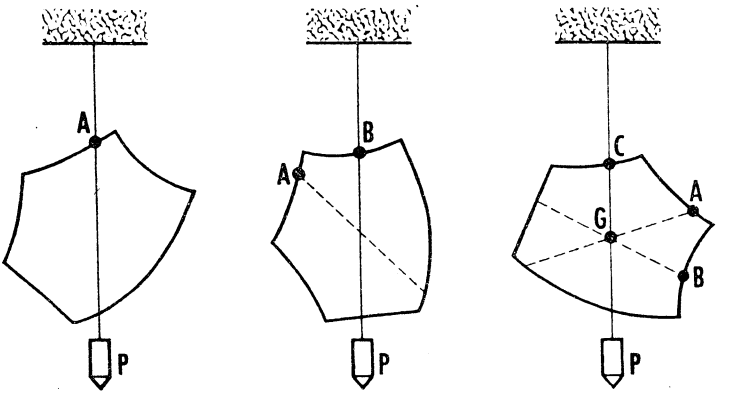
Un cuerpo se encuentra en equilibrio indiferente cuando al pasar de una posición a otra su centro de gravedad no sale del plano horizontal en que está.



Un cuerpo que gira sobre un eje está en equilibrio estable o inestable, cuando la vertical de su centro de gravedad pasa por el eje de giro. Si el centro de gravedad está debajo del eje (fig. 1.ª), el equilibrio es estable; si está sobre el eje (fig. 2.ª) es inestable. Cuando la vertical que pasa por el centro de gravedad es paralela al eje, el equilibrio es indiferente (fig. 3.ª).

Determinación del centro de gravedad de un cuerpo. — De la definición de centro de gravedad se desprende que la materia del cuerpo debe estar repartida simétricamente con respecto a aquél.

Si se trata de un cuerpo que posee un centro de simetría, en él se encontrará su centro de gravedad. Así, el centro de gravedad de un alambre recto estará situado en su punto medio, el de un círculo estará en su centro.



El centro de gravedad de un cuerpo viene dado por la intersección de las verticales que pasan por sus puntos de suspensión en diversas posiciones.

Si el cuerpo no tiene centro de simetría, pero tiene eje de simetría, en él debe encontrarse el centro de gravedad, como sucede en un cono.

En todos los casos, según hemos visto, el centro de gravedad de un cuerpo se encuentra en la vertical que pasa por el punto donde está suspendido una vez esté en equilibrio.

Tomemos una plancha de hierro de forma irregular y suspendámosla mediante un hilo de un punto cualquiera A de su contorno. Después de algunas oscilaciones, la plancha queda en equilibrio. Tracemos sobre ella una línea recta que tenga la misma dirección que la vertical que pasa por el punto por donde la tenemos suspendida. Después la suspendemos por otro punto B y volveremos a trazar una línea recta. Ambas rectas se cortarán en un punto C, y en él se cortarán todas las rectas que tracemos de la misma forma.

Si en el punto donde se encuentran las rectas hacemos un orificio y por él pasamos un hilo, suspendiendo la plancha por medio de ese hilo, observaremos que aquélla queda en equilibrio cuando se encuentra en posición horizontal. Ese punto es el centro de gravedad de la plancha.

Puede decirse, por tanto, que *si un cuerpo se suspende sucesivamente de dos de sus puntos, el punto donde se encuentran las verticales definidas por ambos puntos de suspensión es el centro de gravedad del cuerpo.*

Ejercicios

Enunciar la ley de la gravitación universal y expresarla mediante su fórmula correspondiente.

¿Qué es el peso de un cuerpo? ¿Qué relación hay entre el peso de los cuerpos y su masa? ¿De qué circunstancias depende el peso de un cuerpo?

¿Qué es el centro de gravedad de un cuerpo y cómo se determina?

Explicar cuándo estará en equilibrio estable, inestable e indiferente un cuerpo según que *a*) esté suspendido de un punto fijo; *b*) esté obligado a girar alrededor de un eje; *c*) esté apoyado sobre un plano horizontal.

Problema

Sabiendo que la constante de gravitación vale $k = 6{,}7 \cdot 10^{-8}$ dinas, hallar la fuerza con que se atraen dos esferas de platino de 100 kg y 10 kg respectivamente cuyos centros de gravedad se encuentran a 100 cm de distancia. (Resp.: $6{,}7 \cdot 10^{-3}$ dinas.)

5. TRABAJO, POTENCIA Y ENERGÍA

Trabajo de una fuerza. — Las fuerzas se emplean para trasladar los cuerpos a que se aplican, venciendo las resistencias que se oponen a ello.

Una fuerza realiza trabajo cuando, aplicada a un cuerpo o a un punto material, produce movimiento.

Así decimos que realizamos un trabajo cuando levantamos verticalmente un cuerpo, venciendo la fuerza de gravedad.

Si levantamos una piedra de 10 kilos a una altura de cuatro metros, realizamos un trabajo doble que si elevamos la misma piedra a una altura de dos metros, o si se trata de una piedra de 5 kilos, levantada cuatro metros. Se deduce, pues, que el trabajo realizado por una fuerza depende de dos factores: su intensidad y el camino recorrido.

El trabajo de una fuerza es igual al producto de su intensidad por el camino recorrido en su propia dirección.

Llamando F a la fuerza y e al camino recorrido, tendremos:

$$\mathcal{T} = F \cdot e$$

Cuando la fuerza aplicada a un cuerpo obliga a éste a moverse en su dirección venciendo cualquier resistencia, la fuerza realiza un *trabajo positivo o motor*. Si la resistencia es superior a la fuerza aplicada, de modo que el punto de aplicación se mueva en sentido contrario al de la fuerza, la fuerza realiza un *trabajo negativo o resistente*.

Así, si de los extremos de una cuerda que pasa por la garganta de una polea suspendemos dos pesos, uno mayor que otro, el primero arrastrará al segundo, cayendo hacia el suelo; esta fuerza, que se desliza en sentido contrario al que lo haría por sí misma, realiza un trabajo negativo.

Caso en que la fuerza y el camino recorrido no tienen la misma dirección. — A veces el camino recorrido y la fuerza que actúa no tienen la misma dirección. Así sucede al arrastrar un vagón de ferrocarril mediante la aplicación de una fuerza en dirección oblicua a la vía. En este caso se puede considerar la fuerza ejercida descompuesta en dos: una en la dirección de la vía y otra en dirección perpendicular a ella, y el trabajo efectuado por la fuerza será igual a la suma de los trabajos efectuados por sus dos componentes.

De la definición de trabajo se deduce que la fuerza perpendicular a la vía no realizará ningún trabajo, porque no se mueve en su dirección. Por tanto, el trabajo total será el realizado por la componente que actúa en la dirección del movimiento, y llamando a ésta F_1, el trabajo de la fuerza F será:

$$\mathcal{T} = F_1 \cdot e$$

y como

$$F_1 = F \cdot \cos \alpha$$

tendremos que

$$\mathcal{T} = F \cdot e \cdot \cos \alpha$$

Esta fórmula es de aplicación general, pues cuando la fuerza tiene la misma dirección que el camino recorrido (caso que nos sirvió para definir el trabajo) el ángulo que forman es nulo, y como cos $0 = 1$, se tiene

$$\mathcal{T} = F \cdot e$$

Y si la fuerza tiene la misma dirección pero sentido contrario al camino recorrido, el ángulo que forman vale 180°, y como cos $180° = -1$, resulta que:

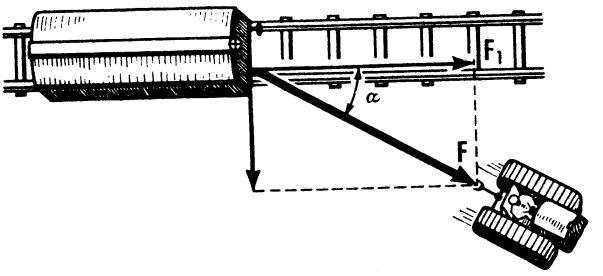
$$\mathcal{T} = F \cdot e \, (-1) = -F \cdot e$$

es decir, que el trabajo es negativo.

Por tanto puede decirse de un modo general que:

El trabajo realizado por una fuerza es igual al producto de dicha fuerza por el camino recorrido y por el coseno del ángulo que forman la fuerza y el camino.

El peso de un cuerpo situado sobre un plano rígido horizontal está contrarrestado por la rigidez del plano y si no existiesen rozamientos, se podría trasladar horizontalmente sin realizar ningún trabajo. En la práctica el trabajo es igual al producto del camino recorrido, no por el peso del



La fuerza que arrastra a este vagón es realmente la F_1, pues la otra componente de la fuerza F se anula por la resistencia de la vía.

cuerpo, sino por la fuerza de rozamiento que hay que vencer para conseguir el movimiento.

En el caso de un vagón de ferrocarril que marcha sobre una vía horizontal, la fuerza que es necesario vencer es sólo de $\frac{3}{1000}$ del peso del vagón.

Para arrastrar sobre una vía horizontal un tren cuyo peso total sea de 30 000 toneladas, se requerirá una fuerza de $30\,000 \cdot \frac{3}{1000} = 90$ toneladas. El trabajo realizado al arrastrar este tren será igual al producto de esta fuerza (90 000 kilogramos) por el camino recorrido.

Unidades de trabajo. — De la fórmula del trabajo

$$\mathcal{T} = F \cdot e$$

se deduce que el valor de éste será unidad, cuando la fuerza y el camino recorrido valgan asimismo la unidad.

Según que la fuerza y el camino recorrido se midan en unidades de uno u otro sistema, el trabajo resultará expresado en unidades de los distintos sistemas de unidades.

La unidad de trabajo en el sistema técnico recibe el nombre de kilográmetro.

El kilográmetro es el trabajo realizado por la fuerza de un kilopeso cuando traslada su punto de aplicación un metro en su propia dirección.

Al elevar un peso de un kilo a un metro de altura realizamos un trabajo de un kilográmetro. Si elevamos un peso de 40 kilos a 10 metros de altura, realizaremos un trabajo de 400 kilográmetros.

En el sistema cegesimal la unidad de trabajo recibe el nombre de ergio.

El ergio es el trabajo realizado por la fuerza de una dina cuando traslada su punto de aplicación un centímetro en su propia dirección.

En el sistema Giorgi la unidad de trabajo recibe el nombre de julio.

El julio es el trabajo realizado por la fuerza de un newton cuando traslada su punto de aplicación un metro en su propia dirección.

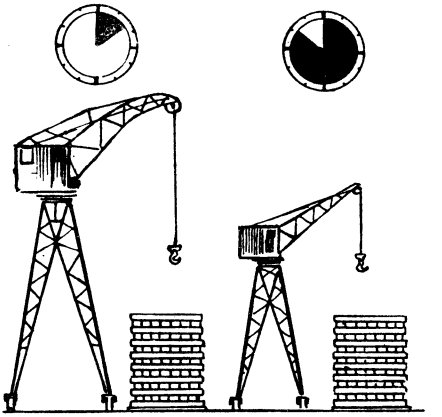
Potencia mecánica. — Al definir anteriormente el trabajo, no hemos tenido en cuenta el tiempo en que se realiza, puesto que el trabajo sólo depende del valor de la fuerza y del camino recorrido. Pero en la práctica interesa conocer el tiempo en que se realiza un trabajo. Cuando una máquina o un motor realizan trabajos, no es indiferente que lo efectúen en poco o en mucho tiempo.

Potencia mecánica es el cociente entre el trabajo efectuado y el tiempo en que se efectúa. También se define algunas veces como el trabajo realizado en la unidad de tiempo.

Por tanto, si en un tiempo t se realiza un trabajo $\mathfrak{T}$, la potencia P será:

$$P = \frac{\mathfrak{T}}{t}$$

Si dos motores realizan un mismo trabajo, uno en cinco segundos y otro en diez, la potencia del primero será doble que la del segundo. El primero puede realizar en el mismo tiempo que el segundo un trabajo doble que éste.



Estas dos grúas pueden realizar el mismo trabajo. Sin embargo, la de la izquierda, que tiene mayor potencia, lo terminará en menos tiempo que la otra.

Unidades de potencia. — De la fórmula de la potencia se deduce que su valor será igual a la unidad cuando el trabajo realizado y el tiempo en que se realiza valgan igualmente la unidad.

La unidad de tiempo en los tres sistemas de unidades es el segundo, por tanto, midiendo el tiempo en segundos, la potencia vendrá dada en unidades del mismo sistema en que se mida el trabajo.

En el sistema técnico, la unidad de potencia será la de un motor o máquina capaz de realizar un trabajo de un kilográmetro en un segundo. Recibe el nombre de kilográmetro por segundo.

En el sistema cegesimal, la unidad de potencia será la de un motor o máquina capaz de realizar un trabajo de un ergio en un segundo.

En el sistema Giorgi, la unidad de potencia será la de un motor o máquina capaz de realizar un trabajo de un julio en un segundo.

Se suele usar en la práctica otra unidad de potencia denominada *caballo de vapor* (HP) que equivale a 75 kilográmetros por segundo. Un motor tiene una potencia de un HP, cuando es capaz de realizar un trabajo de 75 kilográmetros en un segundo de tiempo.

Energía. Sus formas. — *Un cuerpo tiene energía cuando tiene capacidad para producir trabajo.*

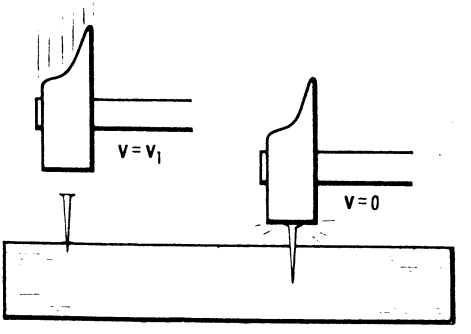
Un cuerpo suspendido en el aire tiene energía, porque dejándolo caer puede realizar un trabajo. Por ejemplo, clavando un clavo al caer sobre él.

Un muelle comprimido también posee energía, porque al soltarlo puede realizar trabajo. Por ejemplo, empujando un cuerpo y venciendo su resistencia.

Un proyectil que se mueve en el espacio tiene energía porque puede producir trabajo al chocar contra un muro derribándolo.

De igual forma decimos que la pólvora contenida en la vaina de una bala de cañón tiene energía, porque cuando estalle lanzará con fuerza el proyectil.

Considerando los ejemplos anteriores, se observa que la energía que tienen los cuerpos puede ser de varias formas, y recibe distintos nombres.



El martillo, momentos antes de golpear sobre el clavo, tiene una velocidad v_1 y posee, por tanto, energía cinética. En la segunda posición su velocidad es 0 y su energía cinética ha desaparecido: se ha consumido en realizar el trabajo necesario para introducir el clavo en la madera.

Se llama energía potencial la que tiene un cuerpo cuando para producir trabajo es preciso modificar las condiciones en que se encuentra.

El cuerpo suspendido en el aire y el muelle comprimido tienen energía potencial porque para realizar el trabajo de que son capaces es preciso modificar las condiciones en que se encuentran, dejando caer el primero y soltando el segundo.

Se llama energía cinética o actual, la que tiene un cuerpo que puede producir trabajo en las mismas condiciones en que se encuentra.

El proyectil que se mueve en el aire tiene energía cinética porque puede realizar trabajo en esas mismas condiciones al chocar contra un muro, por ejemplo.

Las dos clases de energía potencial y cinética, se dice que son dos formas de energía mecánica.

La energía que posee la pólvora encerrada en la vaina de la bala de cañón es energía química, porque su origen está en una reacción química que se produce en el momento de la explosión.

Existen también otras formas de energía que estudiaremos en otros

lugares, como la energía calorífica, la energía eléctrica, energía luminosa y otras.

Transformación de unas clases de energía en otras. — La experiencia muestra que *las distintas formas de energía se pueden transformar unas en otras.*

La energía potencial de un cuerpo situado a cierta altura se transforma en energía cinética del mismo cuando se deja caer, puesto que en su caída adquiere una velocidad cada vez mayor. A medida que pierde altura, y por tanto energía potencial, va ganando velocidad y, por consiguiente, energía cinética.

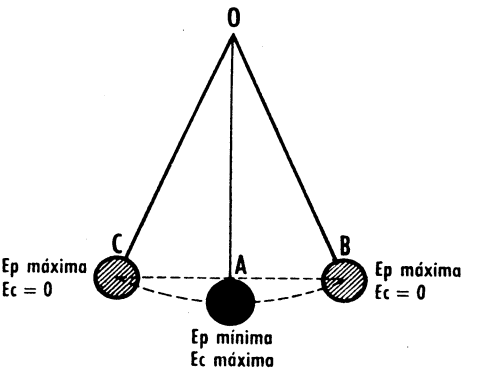
La energía potencial que posee el muelle comprimido en una escopeta de aire desaparece cuando se estira en el momento del disparo, pero en compensación el balín adquiere energía cinética.

La energía potencial de una masa de agua acumulada en un pantano se convierte, mediante mecanismos apropiados, en energía eléctrica, y ésta en energía luminosa y calorífica.

Principio de la conservación de la energía. — En los ejemplos anteriores y en todos los que se podrían poner, se observa la transformación de unas formas de energía en otras. Pero la experiencia enseña también que siempre que desaparece una cierta cantidad de energía, aparece una cantidad equivalente de otras energías. Esto constituye el principio de la conservación de la energía que se enuncia diciendo:

La energía no se crea ni se destruye sino solamente se transforma.

El movimiento de un péndulo es un ejemplo de la transformación de la energía potencial en cinética y viceversa. Cuando se eleva el péndulo desde su posición media de equilibrio hasta su posición extrema efectúa un trabajo en contra de la acción de la gravedad, y adquiere energía potencial, que es máxima cuando se encuentra en la posición extrema, puesto



En el péndulo se realiza la transformación de la energía potencial en cinética y viceversa. En las posiciones extremas, la E_p es máxima y la E_c nula, mientras que en la posición intermedia la E_p es mínima y la E máxima.

que entonces alcanza su mayor altura. Cuando desde esta posición baja hacia la posición media de equilibrio, va perdiendo altura y, por lo tanto, energía potencial, pero va adquiriendo mayor velocidad y, a la vez, mayor energía cinética. Ésta alcanza su mayor valor cuando el péndulo pasa por su posición media de equilibrio, momento en que la energía potencial es mínima.

Cada vez que el péndulo pasa de la posición media a la extrema, cambia su energía cinética en potencial, y cuando pasa de la posición extrema a la media, la energía potencial se convierte en cinética.

De acuerdo con el principio de conservación, este cambio debe hacerse sin pérdida ninguna. Si no hubiera resistencias, como la del aire o la de rozamientos de los ejes, el movimiento del péndulo no cesaría nunca, sino que seguiría indefinidamente.

Cuando se dispara un proyectil verticalmente hacia arriba, va perdiendo velocidad y ganando altura, o sea, que pierde energía cinética y gana energía potencial. La energía cinética va convirtiéndose en energía potencial, hasta que el proyectil alcanza su mayor altura. Después, por la acción de la gravedad el cuerpo cae, perdiendo altura y ganando velocidad, transformándose su energía potencial en energía cinética, de manera que cuando el proyectil llega a la altura desde donde se lanzó, tiene la misma velocidad que tenía en el momento de iniciar la ascensión.

Ejercicios

¿Cuándo se dice que una fuerza produce trabajo? Escribir la fórmula del trabajo mecánico y decir de qué factores depende el trabajo realizado por una fuerza.

Definir las unidades de trabajo en cada uno de los sistemas físicos de unidades.

Decir qué se entiende por potencia mecánica y escribir su fórmula indicando los factores de que depende su valor.

Definir las unidades de potencia en los tres sistemas de unidades. ¿Qué quiere decir que un motor tiene una potencia de un CV?

Decir qué se entiende por energía y citar algunas formas de energía. Citar ejemplos en que se advierta la transformación de unas clases de energía en otras.

Problemas

1. Calcular el trabajo realizado al elevar una masa de agua de 1000 kg hasta un depósito situado a 10 metros de altura, expresándolo en kilográmetros y en ergios. ($R = 10\,000$ kgm $= 981 \cdot 10^9$ ergios.)

2. Si el trabajo anterior lo hubiese realizado un motor en 15 minutos, ¿qué potencia habría desarrollado? (Resp.: 11,1 kgm/seg.)

6. MÁQUINAS SIMPLES

Máquinas. — *Máquina es todo aparato que sirve para transmitir la acción de una fuerza llamada potencia, con la que se quiere equilibrar o vencer otra fuerza llamada resistencia.*

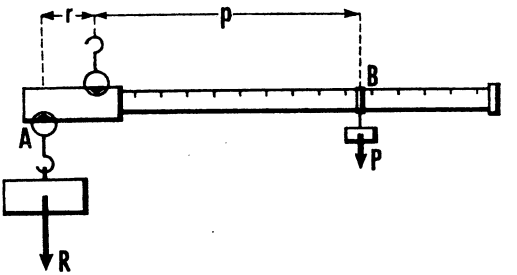
Máquinas simples son las que no pueden descomponerse en partes y tienen un solo elemento de apoyo (punto, eje o plano). Máquinas compuestas son las que están formadas por la combinación de varias simples y tienen varios elementos de apoyo.

Se llama ley de equilibrio de la máquina a la relación que debe existir entre las fuerzas de potencia y resistencia para que haya equilibrio entre ellas.

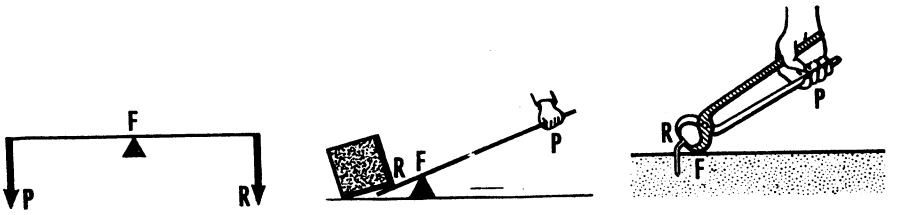
La ley de equilibrio se deduce en todos los casos teniendo en cuenta que la resultante del sistema de fuerzas constituido por la potencia y la resistencia ha de tener su punto de aplicación en el punto de apoyo de la máquina. El punto de apoyo neutralizará, mediante una reacción equivalente, el efecto de la resultante y se producirá el equilibrio deseado.

La palanca. — *La palanca es una máquina simple formada por una barra rígida que puede girar alrededor de un punto de apoyo llamado fulcro.* Con la palanca se trata de equilibrar o vencer una fuerza llamada resistencia, mediante la aplicación de otra llamada potencia.

Las distancias desde el fulcro a los puntos de aplicación de la potencia y la resistencia, reciben, respectivamente, los nombres de *brazo de potencia* y *brazo de resistencia.*



La palanca es una barra rígida que puede girar alrededor de un punto llamado fulcro. Las distancias del fulcro a los puntos de aplicación de la potencia y resistencia se llaman respectivamente brazos de potencia y resistencia.

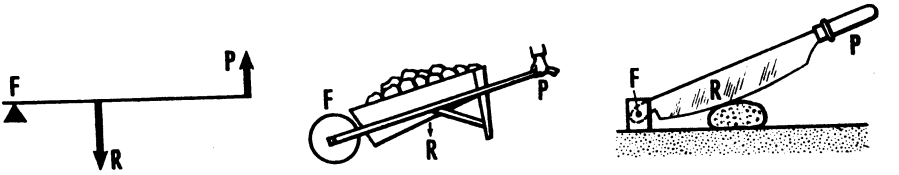


La palanca de primer género tiene el fulcro entre el punto de aplicación de la potencia y el de la resistencia.

Se distinguen tres clases de palancas, según la posición del fulcro y los puntos de aplicación de la potencia y la resistencia:

Palanca de primer género es la que tiene el fulcro entre los puntos de la potencia y de la resistencia.

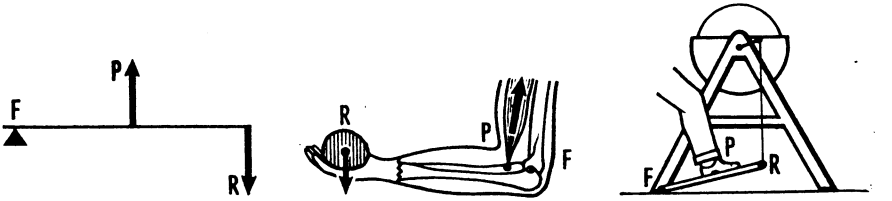
Palanca de segundo género es la que tiene el punto de aplicación de la resistencia situado entre el fulcro y el punto de aplicación de la potencia.



La palanca de segundo género tiene el punto de aplicación de la resistencia entre el fulcro y el punto de aplicación de la potencia.

Palanca de tercer género es la que tiene el punto de aplicación de la potencia entre el fulcro y el punto de aplicación de la resistencia.

Para deducir la ley de equilibrio de la palanca es necesario tener en cuenta que, como hemos dicho, la resultante del sistema de fuerzas cons-

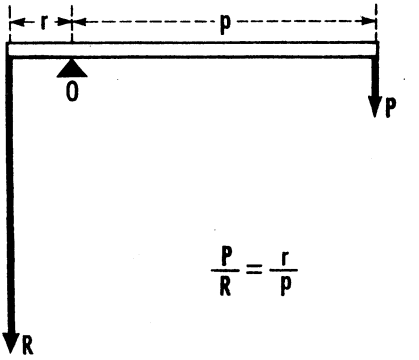


La palanca de tercer género tiene el punto de aplicación de la potencia entre el fulcro y el punto de aplicación de la resistencia.

tituido por la potencia y la resistencia tiene que tener su punto de aplicación en el fulcro de la palanca.

Consideremos una palanca de primer género, a cuyos extremos se aplican las fuerzas P (potencia) y R (resistencia). Tendremos así un sistema de fuerzas paralelas, cuya resultante deberá tener su punto de aplicación en el punto de apoyo. Entonces esta resultante se neutralizará con la reacción equivalente del fulcro y habrá equilibrio.

Ahora bien, si el punto de aplicación de la resultante está en el fulcro, este punto cumplirá la condición estudiada en el capítulo tercero del punto de aplicación de un sistema de dos fuerzas paralelas y del mismo sentido, es decir:



En una palanca cualquiera, el producto de la fuerza de potencia por su brazo es igual al producto de la fuerza de resistencia por el suyo.

$$\frac{P}{R}=\frac{r}{p} \qquad \text{de donde} \qquad P\cdot p = R\cdot r$$

Esta igualdad expresa la Ley de la palanca que dice:

En la palanca, la potencia por su brazo es igual a la resistencia por el suyo.

Se obtiene el mismo resultado cuando se trata de palancas de segundo o tercer género.

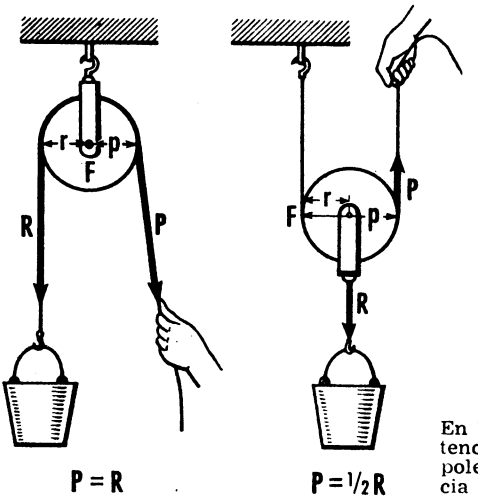
La ley de la palanca significa que si con una potencia determinada se quiere equilibrar una resistencia dos o tres veces mayor, hay que disponer la palanca de forma que el brazo de la potencia sea dos o tres veces mayor que el de la resistencia.

Polea. — *La polea es un disco que gira alrededor de un eje que pasa por su centro y cuyos extremos se introducen en dos orificios practicados en las ramas de una horquilla que sostiene todo el sistema.*

Se distinguen dos clases de poleas: polea fija y polea móvil.

La polea fija sólo tiene movimiento de rotación. Las fuerzas de potencia y resistencia se aplican a los extremos de una cuerda puesta a caballo de la polea.

La polea móvil tiene dos movimientos simultáneos, uno de rotación y otro de traslación. La polea descansa sobre la cuerda, que tiene un extremo fijo; en el otro se aplica la fuerza de potencia, y la resistencia se aplica sobre el eje de la polea.



En la polea fija (fig. izq.) la fuerza de potencia es igual a la de resistencia. En la polea móvil (fig. der.) la fuerza de potencia es igual a la mitad de la de resistencia.

En un pequeño movimiento de la polea fija puede considerarse que las fuerzas de potencia y resistencia se aplican a los extremos de un diámetro de la polea, como si se tratase de una palanca de primer género, cuyos brazos de potencia y resistencia fuesen iguales. Por tanto, si los brazos de potencia y resistencia son iguales, para que haya equilibrio también tendrán que ser iguales las fuerzas de potencia y resistencia, es decir, que

$$P = R$$

igualdad que expresa la Ley de la polea fija que dice:

En la polea fija, la potencia es igual a la resistencia.

En el movimiento de la polea móvil podemos suponer que se trata de una palanca de segundo género, en la que el punto de apoyo estaría en un extremo del diámetro de la polea, la potencia en el extremo opuesto y la resistencia en el punto medio de dicho diámetro. Por tanto, el brazo de la potencia es de doble longitud que el de la resistencia, de donde se deduce que:

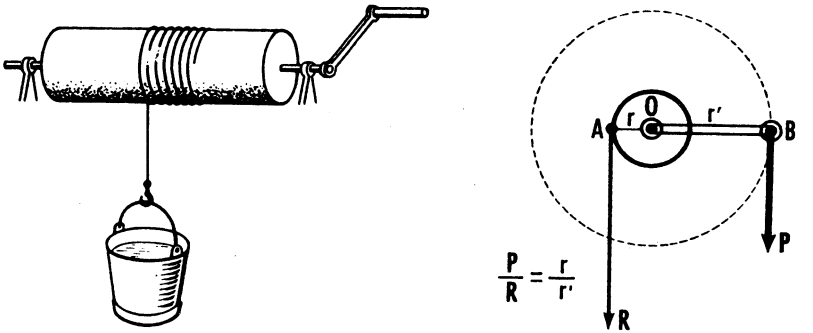
$$P = \frac{R}{2}$$

Esta igualdad expresa la Ley de la polea móvil que dice:

En la polea móvil la potencia es igual a la mitad de la resistencia.

Según se desprende de las leyes de las poleas fija y móvil, la primera sólo sirve para variar la dirección de la fuerza, mientras que la segunda permite equilibrar una fuerza de doble intensidad que la fuerza de potencia de que se disponga.

Torno. — *El torno es un cilindro móvil alrededor de su eje, que se apoya sobre dos soportes fijos y que se acciona mediante un manubrio sobre el que se ejerce la fuerza de potencia, mientras que la resistencia se aplica al extremo de una cuerda que se arrolla sobre el cilindro.*



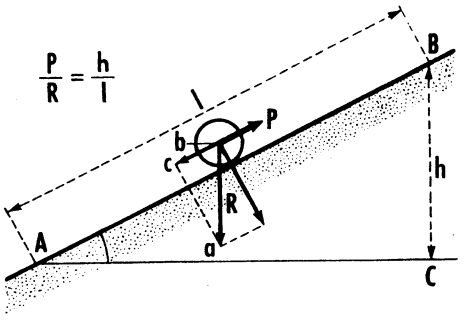
En el torno, el producto de la fuerza de potencia por el radio del manubrio es igual al de la fuerza de resistencia por el radio del cilindro.

Para deducir la ley del torno se puede considerar para un movimiento elemental del mismo, como si se tratase de una palanca de primer género, en la cual el punto de apoyo es el centro del cilindro, que la resistencia actúa tangencialmente al cilindro, por tanto su brazo es el radio del mismo, y la potencia actúa tangencialmente a la circunferencia que describe el extremo del manubrio, y por tanto su brazo es la longitud de éste. Por tanto, para que exista equilibrio entre la potencia y la resistencia debe cumplirse que:

$$\frac{P}{R} = \frac{r}{r'}$$

fórmula que expresa la ley del torno, la cual puede enunciarse diciendo: *La potencia es a la resistencia como el radio del cilindro al radio del manubrio.*

Plano inclinado. — *El plano inclinado es, como su nombre indica, un plano que forma cierto ángulo a con la horizontal y que se emplea para elevar cuerpos empleando fuerzas inferiores a su peso.*



En el plano inclinado, la fuerza de potencia multiplicada por la longitud del plano es igual al producto de la fuerza de resistencia por la altura del mismo.

Supongamos un cuerpo que puede deslizarse sin rozamiento sobre el plano inclinado *AB*. Su peso, que actúa sobre su centro de gravedad puede considerarse descompuesto en dos fuerzas: una normal al plano y neutralizada por la rigidez de éste, y otra, paralela al mismo, que tiende a hacerlo deslizar hacia abajo y que es la que tenemos que equilibrar ejerciendo otra fuerza igual y contraria. Esta última será, por tanto, la potencia, mientras que el peso del cuerpo es la resistencia.

Según se observa en la figura, por la semejanza de los triángulos *ABC* y *abc*, se tiene:

$$\frac{bc}{ba} = \frac{BC}{BA} \qquad \text{o sea} \qquad \frac{P}{R} = \frac{h}{l}$$

Esta igualdad expresa la ley del plano inclinado, que dice que: *La potencia es a la resistencia como la altura del plano es a su longitud.*

Conservación del trabajo en las máquinas. — Realmente, cuando se aplica una fuerza a una máquina, no sólo se hace para equilibrar la resistencia, sino para vencerla y lograr el movimiento de la máquina. Tanto la fuerza de potencia como la de resistencia trasladan su punto de aplicación y, por tanto, realizan un trabajo.

Se llama trabajo motor al realizado por la fuerza de potencia y trabajo resistente al ejecutado por la fuerza de resistencia.

Ambos trabajos pueden calcularse conociendo el valor de las fuerzas de potencia y de resistencia y los caminos recorridos por sus respectivos puntos de aplicación.

En cualquier máquina es evidente que el trabajo que realiza la fuerza de potencia se transmite, puesto que lógicamente el desplazamiento de la fuerza de potencia lleva consigo el de la fuerza de resistencia, hasta el punto de que se suelen definir las máquinas en Física como *dispositivos destinados a transmitir el trabajo mecánico o a modificar las condiciones en que se verifica.*

Ahora bien, si en la máquina no se produce energía de ninguna clase, en virtud del conocido principio de la conservación de la energía que asegura que la energía no se crea ni se destruye sino solamente se transforma, puede decirse que el trabajo efectuado por la primera fuerza es igual al realizado por la última, o lo que es lo mismo, que *el trabajo de potencia debe ser igual al trabajo de resistencia.*

Puede, pues, decirse que en las máquinas se cumple el principio de la conservación de la energía y que, en virtud del mismo, en todas las máquinas el trabajo de potencia es igual al de resistencia.

La aplicación del principio anterior permite también deducir en cada caso la ley de la máquina, es decir, la relación que debe existir entre la potencia y la resistencia para que haya equilibrio entre ellas.

Rendimiento en las máquinas. Resistencias pasivas. — Teóricamente se supone que el trabajo motor es igual al trabajo resistente. Sin embargo, esto no es rigurosamente cierto, debido a que la fuerza de potencia no se ha de emplear tan sólo en vencer a la fuerza de resistencia, sino en vencer también a ciertas *fuerzas pasivas o rozamientos* que se oponen igualmente al movimiento de la máquina por la acción de la potencia. Por esta razón el trabajo motor ha de ser igual a la suma del trabajo resistente más el trabajo de aquellas fuerzas o resistencias pasivas, que son más o menos importantes según la máquina de que se trate y de las circunstancias en que funcione.

Podemos, pues, decir que el trabajo motor se descompone en dos: uno útil, que es el que se aprovecha, y otro pasivo, que se gasta en resistencias inútiles o pasivas, es decir, que:

$$T_m = T_u + T_p$$

Se llama rendimiento de una máquina a la relación que en ella existe entre el trabajo útil que produce y el trabajo motor que consume, o sea:

$$R = \frac{T_u}{T_m} \qquad \text{o también:} \qquad R = \frac{T_m - T_p}{T_m}$$

de donde resulta:

$$R = 1 - \frac{T_p}{T_m}$$

Como se ve, las resistencias pasivas y el trabajo perdido hacen que el rendimiento sea siempre inferior a la unidad; pero será tanto mayor cuanto menores sean aquellas resistencias pasivas y, por consiguiente, menor el trabajo perdido. El rendimiento teórico se obtendría cuando $T_p = 0$, lo cual es imposible en la práctica.

En las máquinas se procura aumentar el rendimiento evitando los rozamientos o disminuyéndolos al mínimo. Esto se consigue de varias formas, como son el empleo de cojinetes y lubricantes.

Ejercicios

¿Qué se entiende en Física por máquinas?
Enunciar la ley de la palanca y escribir la fórmula que la expresa.
Enunciar las leyes de la polea fija y móvil y escribir las fórmulas que las expresan.
Enunciar la ley del torno y escribir la fórmula que la expresa.
Enunciar la ley del plano inclinado y escribir la fórmula que la expresa.
¿Por qué en una máquina es menor el trabajo útil que el trabajo motor? ¿A qué se llama rendimiento de una máquina?

Problemas

1. Se desea equilibrar usando una palanca una resistencia de 100 kg mediante una potencia de 10 kg. Si el brazo de la resistencia es de 10 cm, ¿cuánto ha de valer el brazo de la potencia? (Resp.: 100 cm.)
2. El trabajo motor aplicado a una máquina vale 90 kgm y el trabajo útil obtenido es de 86 kgm. ¿Cuál es el rendimiento de la máquina?

7. LA BALANZA. DENSIDAD

La balanza. — *La balanza es un aparato destinado a comparar el peso desconocido de un cuerpo con el de otro conocido.*

Es una palanca de primer género de brazos iguales, llamada *cruz,* que se apoya mediante un prisma triangular situado perpendicularmente al plano de la cruz sobre un plano horizontal perfectamente pulimentado, fijo sobre una columna de sustentación. En los extremos de la cruz hay otros dos prismas triangulares, invertidos con relación al que sirve de fulcro, sobre los cuales descansan dos planos que soportan los platillos destinados a recibir los cuerpos cuyos pesos han de compararse.

Un índice llamado *fiel,* que se mueve frente a un arco graduado, fija con exactitud la posición de la cruz. El cero de la escala corresponde a la posición del fiel cuando la balanza está perfectamente equilibrada.

Condiciones de exactitud de la balanza. — *Una balanza es exacta cuando, colocando pesos iguales en sus platillos, queda en equilibrio.*

Las tres condiciones que requiere una balanza para ser exacta son:

1. *Que los brazos sean iguales.* De no ser así, como la balanza es una palanca de primer género, el equilibrio se conseguiría precisamente no

siendo iguales las fuerzas o pesos aplicados a sus extremos y la balanza no sería exacta.

2. *Que el centro de gravedad de la parte móvil de la balanza quede situado por debajo del punto de suspensión de la misma.* De este modo, teniendo la balanza cargas iguales sobre sus platillos, puede oscilar como un péndulo alrededor de la posición media de equilibrio hasta amortiguarse las oscilaciones, en cuyo momento el fiel quedará situado frente al cero de la escala.

3. *Que las tres aristas de las cuchillas sean perfectamente paralelas y se encuentren en el mismo plano.*

Condiciones de sensibilidad de la balanza. — *Una balanza es sensible cuando una ligera sobrecarga, colocada sobre uno de sus platillos, produce una desviación apreciable del fiel.*

La sensibilidad de una balanza es tanto mayor:

1.° *Cuanto mayor es la longitud de sus brazos.*

2.° *Cuanto menor es el peso de la cruz y demás partes móviles de la balanza.*

3.° *Cuanto menor es la distancia desde el centro de gravedad de la parte móvil de la balanza al de suspensión de la cruz.*

Balanzas de precisión. — *En los laboratorios se emplean balanzas muy exactas y sensibles que se llaman de precisión.* Suelen tener la cruz en forma de rombo alargado para que, aun siendo ligera, sea bastante resistente para soportar sin deformación los esfuerzos de flexión producidos por las cargas. Se construyen de aleaciones ligeras pero de mucha tenacidad.

Los prismas o cuchillas en que se apoyan la cruz y los platillos son de acero o de ágata, y se sostienen sobre planos del mismo material. Para evitar el desgaste, mientras la balanza no se usa, tanto la cruz como los platillos descansan en un sistema de topes dispuestos convenientemente, de forma que las aristas de las cuchillas quedan ligeramente separadas de los planos de sustentación correspondientes. Estos topes pueden retirarse haciendo girar un tornillo y queda la balanza en disposición de oscilar y ser usada.

Estas balanzas van cerradas en una caja de cristal que las protege y evita las corrientes de aire que impedirían efectuar pesadas de precisión.

Caja de pesas. — Para poder usar una balanza de precisión es necesario disponer de una caja de pesas, que contiene una serie de pesas elegidas de forma que con ellas puedan formarse todos los pesos comprendidos entre el de la menor de la caja y el doble del de la mayor.

Las pesas superiores al gramo suelen ser de latón, de forma cilíndrica,

con una cabeza que permite cogerlas mediante unas pinzas. Las inferiores al gramo están constituidas por láminas metálicas rectangulares, que tienen uno de sus ángulos doblados para que puedan cogerse con las pinzas.

La escala de pesas corrientemente adoptada es la siguiente:

Mayores de 1 g:

100 g	50 g	30 g	10 g	10 g
5 g	3 g	1 g	1 g	

Menores de 1 g:

0,5 g	0,3 g	0,1 g	0,1 g
0,05 g	0,03 g	0,01 g	0,01 g

Métodos de pesada. — Para pesar un cuerpo pueden seguirse varios procedimientos. El más fácil es el método de simple pesada. Se utiliza cuando no se requiere una gran precisión. Consiste en colocar el cuerpo que se quiere pesar en un platillo de la balanza, y en el otro pesas suficientes para equilibrar el primero. Una vez conseguido el equilibrio, el peso del cuerpo es igual al de las pesas colocadas en el otro platillo.

El método de doble pesada o método de Borda consiste en equilibrar el peso del cuerpo colocado en uno de los platillos, poniendo en el otro perdigones finos o arena. Cuando se ha conseguido esto se sustituye el cuerpo por pesas hasta conseguir nuevamente que la balanza quede equilibrada. De esta manera es evidente que las pesas representan con toda exactitud el peso buscado. En este caso no importa que los brazos de la balanza no sean exactamente iguales.

El método de pesada por diferencia es el más usado en los laboratorios. Se coloca el cuerpo que se quiere pesar en un platillo y en el otro una pesa (tara) algo mayor. Para conseguir el equilibrio de la balanza se colocan al lado del cuerpo las pesas necesarias. Entonces se retira el cuerpo del platillo y se sustituye por más pesas hasta restablecer el equilibrio. El peso del cuerpo es el de las pesas añadidas últimamente para conseguir el equilibrio.

Este método se usa corrientemente colocando el cuerpo que se quiere pesar dentro de una cajita de vidrio llamada pesasustancias, y poniendo en el mismo platillo pesas hasta conseguir el equilibrio de una tara mayor colocada en el otro platillo. Después se saca el cuerpo del pesasustancias, dejando éste nuevamente en el platillo de la balanza, y se vuelven a añadir pesas para restablecer el equilibrio. Las pesas añadidas en segundo término equivalen al peso del cuerpo que hemos sacado del pesasustancias.

Utilidad de la balanza. — *Aunque ordinariamente se dice que las balanzas sirven para determinar pesos, en realidad sirven para comparar los pesos de dos cuerpos y mediante tal comparación determinar la masa de los mismos.*

El peso de los cuerpos es la fuerza con que la Tierra los atrae. Pero la atracción depende del lugar de la Tierra donde el cuerpo se coloque. Así, el kilo patrón que en París es atraído con la fuerza de un kilo, fuera de París ya no es atraído con esa fuerza, sino con otra mayor o menor, según donde se sitúe.

En cambio, la masa de los cuerpos es invariable. La masa del kilo patrón es siempre la misma en cualquier sitio que se encuentre.

Por esta razón, aunque tuviésemos una caja de pesas contrastadas con el kilo patrón conservado en París, en otro lugar ya no sabríamos cuál era el peso exacto de las mismas, ni, por tanto, el de los cuerpos que se equilibrasen con ellas en la balanza. Sus masas, sin embargo, seguirían siendo las mismas y también iguales a las de los cuerpos que se equilibraran con ellas en la balanza.

Cuando pesamos un cuerpo y decimos que tiene 50 gramos, realmente queremos decir que tiene 50 gramos masa. Su peso será distinto en diferentes lugares de la Tierra, y solamente podría conocerse con un dinamómetro muy sensible, graduado en París con pesas contrastadas con el kilo patrón.

Masa específica y densidad de sólidos y líquidos. — Ya sabemos que volúmenes iguales de diferentes cuerpos tienen pesos diferentes. Este hecho puede comprobarse mediante la balanza, pesando cubos de 1 cm de arista de diferentes sustancias: Un cm^3 de plomo pesa 11,4 g, de cobre 9 g, de hierro 7,8, de agua (medido a 4°C) 1 g, de alcohol 0,8 g, etc.

Se llama masa específica de un cuerpo sólido o líquido a la masa de la unidad de volumen del mismo.

Si en lugar de pesar una unidad de volumen del cuerpo, lo hiciésemos con un volumen v del mismo, su masa específica se encontraría dividiendo la masa del mismo por su volumen. O sea, que de un modo general se puede decir que la masa específica de un cuerpo es igual al cociente de su masa por su volumen. Si el volumen se mide en cm^3 y su masa se mide en gramos, la masa específica viene dada en gramos por centímetro cúbico. Es decir:

$$m_e = \frac{m}{v}$$

La determinación de la masa específica de un cuerpo requiere la medición de la masa y del volumen del mismo de manera rigurosa.

En la práctica se prefiere comparar las masas de dos volúmenes iguales de dos cuerpos, tomando como término de comparación el agua a 4° centígrados. *Se llama densidad de un cuerpo, a la relación o cociente entre la masa de un centímetro cúbico de dicho cuerpo y la masa de un centímetro cúbico de agua medido a 4°C. Este cociente es también igual al cociente de las masas de dos volúmenes iguales, uno del cuerpo dado y otro de agua medido a 4°C. Es decir, que:*

$$d = \frac{m}{m_1}$$

Así, puesto que la masa específica del mercurio es 13,6, 12 cm^3 de mercurio tienen una masa de $12 \cdot 13{,}6 = 163{,}2$ g; y como 1 cm^3 de agua tiene una masa de un gramo, 12 cm^3 de agua tendrán una masa de 12 g. Por tanto, la densidad relativa del mercurio será:

$$d = \frac{163{,}2}{12} = \frac{13{,}6}{1} = 13{,}6$$

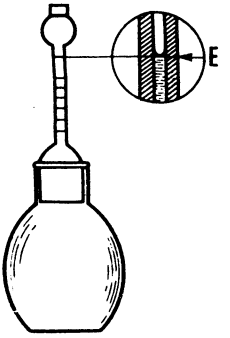
Como el volumen de una masa de agua en cm^3 y su masa en gramos vienen dados por el mismo número (por ejemplo, 5 g de agua ocupan 5 cm^3), la densidad de un cuerpo también se halla dividiendo su masa por su volumen. Así pues, la densidad relativa de un cuerpo viene expresada por el mismo número que su masa específica, pero así como ésta es un número concreto de gramos por cm^3 (o de kg por dm^3, cuando la masa se mide en kg y el volumen en dm^3), *la densidad relativa es un número abstracto.*

En el ejemplo anterior, decir que la densidad del mercurio es 13,6 equivale a decir que un volumen de este metal tiene una masa 13,6 veces mayor que un volumen igual de agua.

Conociendo la densidad de un cuerpo sólido o líquido, o su masa específica, es fácil calcular la masa de cualquier volumen del mismo; basta con multiplicar su volumen en cm^3 por su densidad para tener su masa en gramos, o por su volumen en litros para obtener su masa en kilos masa. Así, por ejemplo, 76 cm^3 de mercurio tienen una masa de $76 \cdot 13{,}6 = 1033$ g; 10 litros de alcohol tendrán una masa de $10 \cdot 0{,}8 = 8$ kilos masa. En general, *la masa de un cuerpo se halla multiplicando su volumen por su densidad:*

$$m = v \times d$$

Determinación de la densidad de un sólido por el método del picnómetro. — Como se ve por lo expuesto anteriormente, la determinación de la densidad de un sólido *se reduce a la determinación de las masas (o pesos)*

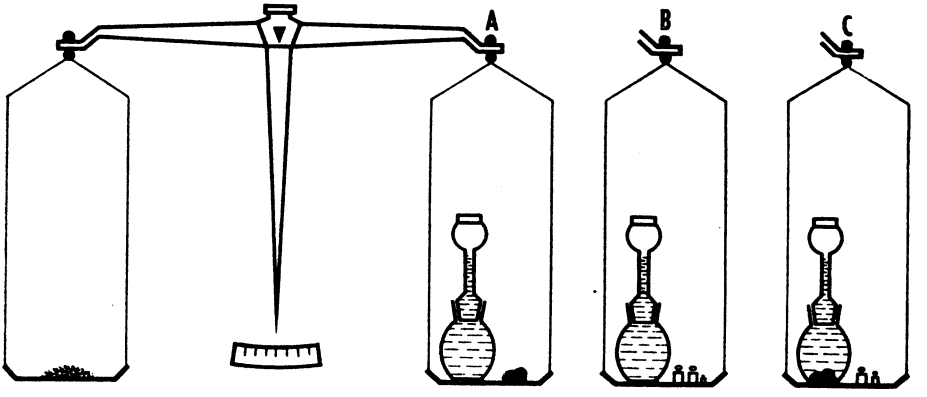


El picnómetro es un frasquito de vidrio que tiene un tapón continuado por un tubo estrecho que lleva una señal de enrase.

de dos volúmenes iguales: una del cuerpo cuya densidad se quiere averiguar y otro de agua. Esto se realiza en la práctica mediante una balanza de precisión siguiendo el método del picnómetro.

Un *picnómetro* es un frasquito de vidrio de unos 20 ó 25 cm^3 de capacidad al cual se puede ajustar un tapón esmerilado que continúa por un tubo casi capilar terminado en un ensanchamiento en forma de embudo. El tubito capilar lleva una señal de enrase hacia su parte media.

La operación se efectúa del modo siguiente: Se empieza por llenar el picnómetro con agua destilada y se ajusta el tapón, procurando que el agua rebose hacia el embudo, luego se coloca en un cristalizador con agua natural para que el picnómetro tome igual temperatura, que se mide con un termómetro. Seguidamente, con una tirita de papel de filtro se absorbe el agua que quedó por encima de la señal de enrase del picnómetro, y se seca el interior del tubito y embudo, así como todo el picnómetro por su parte exterior.



La densidad de un sólido puede determinarse mediante el picnómetro, haciendo solamente tres pesadas.

A continuación se coloca el picnómetro en un platillo de la balanza y en el mismo platillo se ponen también unos trocitos del sólido cuya densidad se quiere averiguar, tarando la balanza mediante arena o limaduras de hierro. Se retira ahora el cuerpo y en su lugar se colocan pesas hasta restablecer el equilibrio de la balanza. Estas pesas representan la masa del cuerpo: sea ésta *m*.

Después se introducen los trocitos del sólido dentro del picnómetro, que desalojarán una cierta cantidad de agua, y se repite otra vez la operación de rellenar el picnómetro de agua destilada y enrasar el picnómetro a igual temperatura a que se operó la primera vez. Se vuelve a colocar en el platillo de la balanza, de la que no se quitó ni la tara ni las pesas que se habían colocado. Ahora la balanza no estará equilibrada, puesto que

dentro del picnómetro hay menos agua que antes: la desalojada por el cuerpo. Para restablecer el equilibrio será necesario retirar un número de pesas, m_2, que representan la masa del agua desalojada por el sólido. La densidad del cuerpo a la temperatura t de la experiencia viene dada por el cociente:

$$d = \frac{m_1}{m_2}$$

Determinación de la densidad de un líquido por el método del picnómetro. — Para determinar la densidad de un líquido por el método del picnómetro se opera de una manera muy parecida. Para ello se empieza por limpiar perfectamente el picnómetro tanto interior como exteriormente; se coloca en el platillo de una balanza de precisión y en el mismo platillo se colocan una serie de pesas por un valor en gramos algo superior al volumen del picnómetro en cm^3, equilibrando luego la balanza colocando en el otro platillo arena o limaduras de hierro.

A continuación se llena el picnómetro con el líquido, cuya densidad se quiere determinar, enrasando y midiendo la temperatura tal como se hizo en el caso anterior. Colocando ahora el picnómetro sobre el platillo de la balanza, para restablecer el equilibrio será necesario retirar una cantidad de pesas m_1 que representan la masa del líquido que llena el picnómetro.

Seguidamente se vacía el picnómetro, y lavándolo con agua destilada se llena luego de ésta, volviendo a enrasar y a medir la temperatura, que debe ser la misma que antes. Entonces se coloca nuevamente en la balanza y se vuelve a equilibrar quitando o añadiendo pesas en su mismo platillo. La diferencia entre las pesas que había cuando el picnómetro se encontraba vacío y las que hay ahora, m_2, representa la masa del agua que llena el picnómetro.

Las masas m_1 y m_2 son, pues, las masas de dos volúmenes iguales (el volumen del picnómetro) uno del líquido y otro de agua a la misma temperatura. Por tanto, la densidad del líquido vendrá dada por el cociente:

$$d = \frac{m_1}{m_2}$$

Ejercicios

Descríbase una balanza de precisión. ¿Cuáles son las condiciones de exactitud y de sensibilidad de una balanza?

¿La balanza sirve para determinar pesos o masas? ¿Por qué?

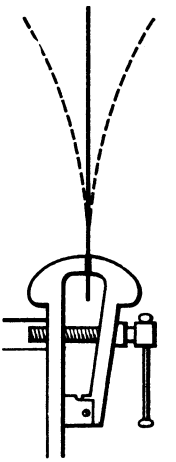
Explicar qué es densidad absoluta y relativa de un cuerpo y qué diferencia hay entre una y otra.

Problemas

1. Un cilindro de aluminio tiene 1 cm de radio y 10 de altura. Su peso es de 84,8232 g. ¿Cuál es su densidad absoluta y su densidad relativa? (Resp.: 2,7.)
2. La densidad de la plata es de 10,5. ¿Cuánto valdrá la masa de un objeto de dicho metal cuyo volumen es de 2,5 dm^3? (Resp.: 2,625 g masa.)

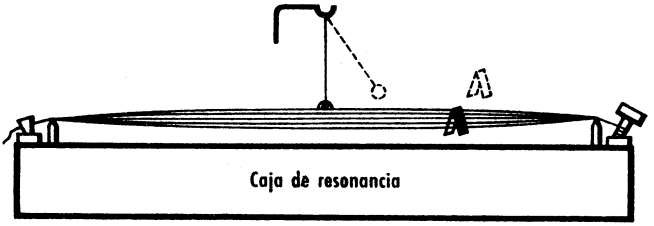
8. EL SONIDO

El sonido y su origen. — Tomemos una varilla de acero y fijémosla por un extremo mediante un tornillo mecánico. Separando el otro extremo de su posición de reposo y soltándola rápidamente se observa que la varilla entra en vibración, al mismo tiempo que deja oír un sonido. Este sonido va amortiguándose a medida que se amortigua el movimiento vibratorio y deja de oírse cuando desaparece aquél.



La vibración de una varilla de acero da lugar a un sonido que dura lo que la vibración de la misma.

Esta experiencia demuestra que *el origen del sonido está en la vibración de los cuerpos sonoros,* ya que en todos los casos en que se produce un sonido puede comprobarse que vibra el cuerpo que lo emite, así como cuando cesa la vibración cesa también el sonido.



La vibración de una cuerda hace saltar un jinetillo de papel y despide a una esferita ligera puesta en contacto con ella.

Nuestra misma voz tiene su origen en la vibración de las cuerdas vocales, producida por la acción del aire expulsado con fuerza por los pulmones.

Propagación del sonido. — Puesto que el sonido se produce en los cuerpos sonoros y llega a nuestro oído, es evidente que *se propaga a través del aire*. Las vibraciones del cuerpo sonoro se comunican al aire que le rodea y en éste se propagan hasta llegar a nuestro oído, donde la vibración del tímpano produce sobre el nervio auditivo la sensación conocida con el nombre de sonido.

La propagación se realiza por ondas sonoras, las cuales están constituidas por superficies esféricas, cuyo centro se encuentra en el cuerpo sonoro y cuyo radio va creciendo a medida que el sonido se propaga.

Pero así como la luz se propaga a través del vacío, el sonido necesita para su propagación un medio material, sin el cual las vibraciones no podran llegar hasta nosotros.

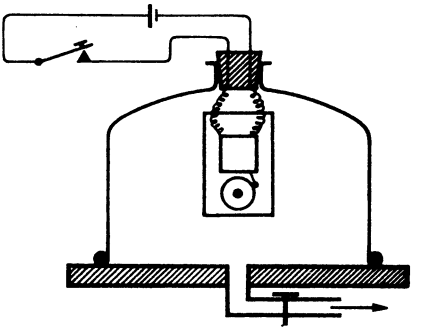
Puede demostrarse que *el sonido no se propaga en el vacío* colocando un timbre debajo de una campana en la que se hace el vacío. Haciendo sonar luego el timbre, observaremos cómo el martillito golpea la campana sin que se perciba sonido alguno.

Esta experiencia se explica porque, una vez hecho el vacío debajo de la campana, no existe aire que pueda propagar las vibraciones. Si dejamos entrar aire en la campana, comienza a oírse el sonido.

Pero no solamente el aire es capaz de transmitir el sonido. Éste se transmite también a través de otros materiales, sólidos y líquidos.

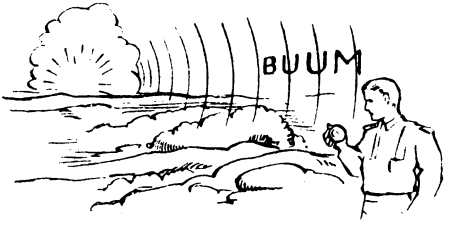
Se sabe que los peces oyen perfectamente los ruidos que se producen fuera del agua, porque el agua transmite muy bien los sonidos. Todos sabemos también que colocando el oído sobre una mesa se oyen perfectamente

los pequeños golpes o simples rozamientos que se producen a cierta distancia. El ruido de un tren se oye a gran distancia, aplicando el oído a los carriles. Estos experimentos prueban que *el sonido se propaga también a través de los líquidos y de los sólidos.*



El sonido del timbre no se percibe cuando se hace el vacío debajo de la campana donde se encuentra porque el sonido necesita un medio material para transmitirse.

Velocidad del sonido. — Cuando vemos disparar un cañón a gran distancia de nosotros, vemos primero el fogonazo y al cabo de cierto tiempo oímos el ruido producido por el disparo. También transcurre cierto tiempo entre el momento en que vemos el relámpago y el momento en que oímos el trueno. Esto demuestra que *el sonido requiere cierto tiempo para llegar desde donde se produce hasta nuestro oído.*



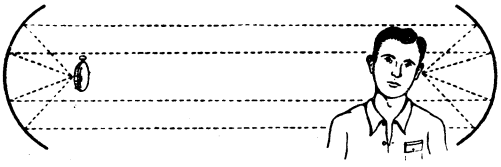
La velocidad del sonido se mide dividiendo la distancia que recorre por el tiempo que invierte en recorrerla.

La velocidad del sonido se mide contando el tiempo que transcurre entre el momento de ver el fogonazo de un disparo y el momento en que se oye el ruido del mismo, sabiendo la distancia que ha de recorrer el sonido desde donde se produce hasta nosotros. *Mediciones muy cuidadosas han dado para la velocidad del sonido en el aire el valor de 340 metros por segundo.*

En otros medios distintos del aire la velocidad del sonido es diferente; en el agua, por ejemplo, es casi cuatro veces mayor que en el aire.

Reflexión del sonido. Eco. — Si nos situamos frente a un muro o pared, a una distancia no inferior a 20 metros, y pronunciamos una palabra o damos un grito, al cabo de breves instantes oímos el grito o la última sílaba de la palabra pronunciada, como si otra persona respondiese desde el muro.

Esto es debido a que *cuando el sonido encuentra en su propagación un obstáculo, cambia de dirección, propagándose en dirección distinta a la que tenía antes. Este fenómeno se conoce con el nombre de reflexión del sonido.*



El sonido se refleja como se prueba con estos espejos de latón.

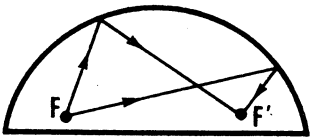
Este fenómeno es enteramente análogo a la reflexión de la luz y se rige por iguales leyes.

Puede probarse la reflexión del sonido colocando un reloj en el foco de un espejo parabólico de latón, y situando el oído en el foco de otro espejo igual colocado frente al primero. De esta manera se oye perfectamente el ligero ruido producido por el reloj, aunque los espejos se encuentren bastante separados. Este fenómeno se explica porque el sonido producido por el reloj se refleja en el espejo, en cuyo foco se encuentra y es recogido por el segundo espejo, donde se refleja de nuevo hacia su foco, en el cual hemos situado el oído.

Las bóvedas curvas actúan con los sonidos igual que los espejos, dando lugar a fenómenos muy curiosos. En el monasterio de El Escorial existe

una sala, llamada «de los secretos», donde se puede sostener de extremo a extremo una conversación en voz baja.

La repetición del sonido, que se produce cuando la onda sonora se refleja en un muro, recibe el nombre de eco.



Ciertas bóvedas curvas reflejan el sonido y permiten sostener conversaciones en voz baja a mucha distancia.

Claro está que, para percibir el eco, es preciso que la distancia de la pared reflectora sea suficiente para el sonido tarde en volver un tiempo igual, por lo menos a la duración del sonido que ha de reflejar. Por esto, para que el eco repita claramente una sílaba, debemos encontrarlos a una distancia al menos de 17 metros, pues de esta forma el sonido habrá de recorrer 34 m, en lo que se invertirá $^1/_{10}$ de segundo, que es el tiempo que dura la emisión de una sílaba.

Sonidos musicales y ruidos. — *Sonidos musicales son los que producen en nuestro oído una sensación continua y agradable.* Son debidos a vibraciones periódicas de los cuerpos sonoros, sostenidas durante cierto tiempo, como ocurre al pulsar una cuerda de guitarra.

Los sonidos debidos a vibraciones no periódicas de los cuerpos sonoros producen una sensación menos agradable o francamente desagradable y reciben el nombre de sonidos no musicales.

Los sonidos no musicales se dividen en dos grupos: *ruidos y estruendos,* según sean lentos y suaves, como el viento agitando las hojas de los árboles, o fuertes y rápidos, como el producido por el disparo de un cañón.

La Física clasifica y estudia los sonidos musicales. El estudio de su producción y propagación constituye una rama de la Física llamada Acústica.

Cualidades del sonido. — Los sonidos musicales, incluyendo la voz humana, se distinguen unos de otros gracias a tres cualidades llamadas *intensidad, tono* y *timbre.*

Intensidad del sonido. — Repitamos la experiencia citada al principio del capítulo con una barra de acero sujeta por un extremo y a la que se hace vibrar separándola por su extremo libre de su posición de reposo. El sonido producido es tanto más fuerte cuanto más amplias son las vibraciones y se debilita a medida que disminuye su amplitud.

Se llama intensidad de un sonido a la cualidad por la cual distinguimos los sonidos fuertes de los débiles.

La experiencia anterior demuestra que la intensidad de un sonido es una cualidad que está ligada estrechamente a la amplitud de las vibraciones del cuerpo sonoro.

Un sonido es tanto más intenso cuanto más amplias son las vibraciones del cuerpo sonoro que lo produce.

Hay otra causa de la que depende la intensidad con que percibimos un sonido: es la distancia a que nos encontramos del cuerpo sonoro. Si oímos un repique de campanas desde el propio campanario, el sonido es tan intenso que apenas podemos oír lo que nos diga otra persona que esté junto a nosotros. Sin embargo, a cierta distancia, el sonido de las campanas se oye levemente e incluso, si la distancia es suficiente, el sonido se percibe con dificultad.

Esto es debido a que la intensidad con que recibimos un sonido depende también de la energía que transporta la onda sonora por unidad de superficie. Puesto que los sonidos se propagan por ondas esféricas, cuya superficie aumenta en razón directa al cuadrado del radio, en igual proporción disminuye la energía transportada por la onda sobre cada unidad de superficie y, por tanto, la intensidad con que recibimos el sonido.

La intensidad con que se percibe un sonido aumenta con la amplitud de las oscilaciones del cuerpo sonoro y disminuye con la distancia a que se encuentra de nosotros.

Tono o altura de un sonido. — Si apoyamos el borde de una cartulina en una rueda dentada en movimiento, las vibraciones de la cartulina a cada impulso de un diente producirán un sonido. Éste resulta un sonido grave si la velocidad de la rueda es pequeña y agudo si la velocidad es grande.

Se llama tono o altura de un sonido a la cualidad por la que distinguimos los sonidos agudos de los graves.

La experiencia anterior prueba que *la altura o tono de un sonido depende del número de vibraciones por segundo que produce el cuerpo sonoro.*

Timbre de un sonido. —*El timbre de un sonido es la cualidad por la que podemos distinguir dos sonidos de igual intensidad y de igual tono, producidos por dos instrumentos diferentes.*

Por esta cualidad distinguimos una nota dada por un piano, de la misma nota dada por un violín o una guitarra.

Se demuestra que *el timbre de un sonido depende de la forma de las vibraciones del cuerpo sonoro.*

Escala musical. — Existen siete sonidos o notas musicales: *do, re, mi, fa, sol, la, si,* de las cuales el *la* tiene 435 vibraciones por segundo, mientras que el número de vibraciones de las demás guarda con ésta una relación bien determinada.

Se llama *intervalo musical* entre dos notas la relación entre el número de sus vibraciones.

Esas siete notas musicales forman la *gama natural,* y la sucesión de gamas constituye la escala musical.

La música es el arte de combinar los sonidos para que su conjunto produzca al que lo oye un efecto agradable al oído.

Instrumentos musicales. — Para emitir los sonidos musicales o notas se emplean instrumentos musicales. Éstos se agrupan en dos clases, llamados instrumentos de cuerda e instrumentos de viento.

En los *instrumentos de cuerda* el sonido se produce al entrar en vibración una cuerda de metal o de otro material, mantenida tensa entre dos puntos, por percusión (piano), pulsación (guitarra) o frotamiento (violín). El tono del sonido producido depende de la tensión a que está sometida la cuerda, de su peso, de su diámetro y de su longitud.

Generalmente, los instrumentos de cuerda tienen varias de éstas, con las cuales se pueden producir gran variedad de sonidos musicales.

En los *instrumentos de viento,* el sonido se produce al entrar en vibración una columna de aire contenida en un tubo bajo la acción de una lengüeta (tubos de lengüeta) o cuando una corriente de aire choca con un bisel bien dispuesto a la entrada del tubo (tubos de embocadura). El tono del sonido producido depende de la longitud del tubo o de los orificios que se abran en la pared del mismo, que hacen modificar la forma de vibración del aire contenido en él. Unas veces el instrumento tiene varios tubos, cada uno de los cuales da una nota determinada (órgano), otras puede modificarse la longitud de su único tubo para producir diversas notas (trombón de varas) y otras, por fin, el tubo sonoro tiene una serie de orificios que se pueden abrir o cerrar a fin de conseguir los distintos sonidos (flauta y clarinete).

Ejercicios

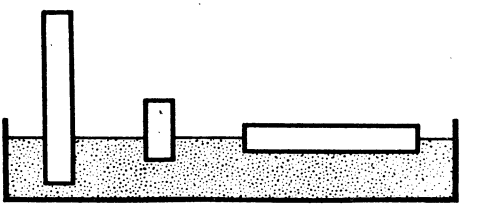
¿Cuál es el origen del sonido? ¿Cuáles son sus cualidades y de qué factores dependen?

Problemas

1. Durante una tormenta se ve un relámpago y a los 4 segundos se oye el trueno. ¿A qué distancia de nosotros se produjo la descarga eléctrica? (Respuesta: 1360 metros.)
2. Frente a un muro hacemos un disparo y oímos el eco al cabo de 1,2 segundos. ¿A qué distancia se encuentra el muro de nosotros? (Resp.: 204 metros.)

9. HIDROSTÁTICA. PRINCIPIO DE PASCAL

Concepto de presión. — Tomemos una vasija ancha, llena de arena fina; sobre la arena pongamos un ladrillo, primero apoyado por su cara mayor y luego por su cara más pequeña. Observaremos que en el primer caso se hunde menos que en el segundo, a pesar de que su peso es siempre el mismo. Esto indica que cuando una fuerza actúa sobre una superficie su efecto depende no sólo del valor de la fuerza, sino también del de la superficie sobre que actúa.



Un ladrillo se hunde en la arena fina tanto más cuanto menor es la superficie sobre que se apoya.

Averigüemos ahora la fuerza que soporta cada unidad de superficie en ambos casos. Para ello dividiremos el peso por la superficie en que descansa. Si el ladrillo pesa 2000 g y sus superficies mayor y menor miden,

respectivamente, 200 y 25 cm^2, la fuerza ejercida por centímetro cuadrado será, en el primer caso:

$$\frac{2000\ g}{200\ cm^2} = 10\ g\ por\ cm^2,$$

y el segundo:

$$\frac{2000\ g}{25\ cm^2} = 80\ g\ por\ cm^2$$

Se ve claramente que en el segundo caso la fuerza por unidad de superficie es mayor que en el primero.

Se llama presión de una fuerza sobre una superficie a la razón o cociente entre la fuerza y la superficie.

Es decir:

$$p = \frac{F}{S} \qquad \text{de donde:} \qquad F = p \cdot S$$

No debe, por tanto, confundirse la presión con la fuerza. En el ejemplo anterior la fuerza es el peso del ladrillo, mientras que la presión es una parte de esa fuerza: la ejercida sobre una unidad de superficie.

Unidades de presión. — De la fórmula de la presión se deduce que *la unidad de presión será la ejercida por la unidad de fuerza sobre la unidad de superficie.*

En el sistema cegesimal, la unidad de presión recibe el nombre de *baria* y se define como la presión ejercida por una dina sobre un cm^2 de superficie.

En el sistema Giorgi, la unidad de presión es la ejercida por un newton de fuerza sobre un m^2 de superficie.

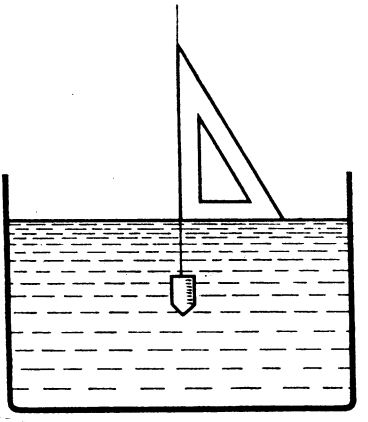
En el sistema técnico, la unidad de presión sería la ejercida por un kilo peso sobre un m^2 de superficie.

Todas estas unidades son muy pequeñas y en la práctica se emplea el *kilo-peso por* cm^2, es decir, la presión ejercida por un kilo-peso cuando actúa sobre un cm^2 de superficie.

También se emplea la *atmósfera* que equivale a 1033 gramos-peso por centímetro cuadrado.

Superficie libre de un líquido. — La superficie libre de un líquido en estado de equilibrio adopta la forma plana y horizontal, o sea, perpendicular a la vertical indicada por la plomada.

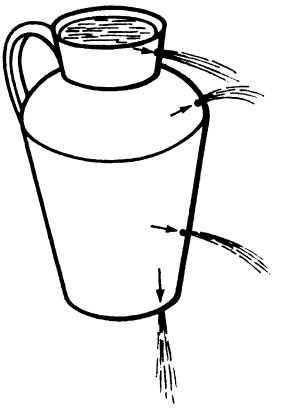
Para comprobarlo basta tomar una vasija llena de agua, en la que sumergimos un peso sostenido por un hilo. Aplicando a este hilo un cateto de una escuadra el otro cateto quedará en contacto con el agua cualquiera que sea su orientación.



La superficie de un líquido es plana y horizontal, como se puede probar mediante una plomada y una escuadra.

La forma de la superficie de un líquido en reposo es plana y horizontal cualquiera que sea la forma del vaso.

Presiones de los líquidos en equilibrio sobre las paredes de los vasos. — Tomemos una vasija cualquiera y hagamos en sus paredes varios orificios pequeños, que taparemos luego con tapones de madera. Llenémosla de agua y quitemos rápidamente los taponcitos. Observaremos que el agua sale por todos los orificios formando pequeñas venas líquidas normales a la superficie de la vasija en el momento de salir, aunque después cambian de dirección en virtud del peso del agua.

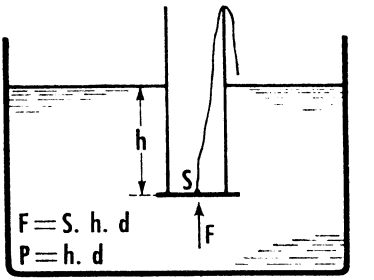


La presión ejercida por el agua sobre las paredes y el fondo de esta vasija la hace salir por los orificios que se practican en ella.

Esto es debido a que los líquidos ejercen cierta presión sobre las paredes y el fondo de la vasija que los contiene. Esta presión es contrarrestada por la rigidez de las paredes, y cuando desaparece ésta en algún punto, se vierte el líquido por este punto y sale al exterior.

Puede decirse, por tanto, que *los líquidos ejercen una presión sobre las paredes y el fondo de la vasija que los contiene, la cual es en todos los puntos normal a la misma.*

Presión de un punto en el interior de un líquido. — Tomemos un tubo cilíndrico provisto de obturador. Adaptemos éste mediante un hilo e introduzcámoslo dentro de un vaso con agua, soltando luego el hilo. Observaremos que el obturador permanece adaptado al tubo, lo que prueba que el líquido ejerce sobre él una fuerza que le impide desprenderse por su peso.



La presión del líquido mantiene el obturador adaptado al tubo.

Si vertemos agua dentro del tubo, el obturador se desprenderá cuando el peso del agua dentro del tubo sea igual a la fuerza que el agua exterior ejerce sobre el obturador de abajo arriba. Esto sucede precisamente cuando el nivel del agua es el mismo dentro y fuera del tubo.

Esta experiencia demuestra que *una superficie en el interior de un líquido recibe por parte de éste una fuerza igual al peso de la columna del líquido que tiene por base la superficie considerada y por altura la distancia desde ésta a la superficie libre del líquido.*

Ese peso se halla multiplicando el valor de la superficie dada por la distancia desde ella a la superficie libre y por la densidad del líquido. La superficie debe medirse en centímetros cuadrados y la distancia en centímetros, expresándose entonces aquella fuerza en gramos, o sea que:

$$F = S \cdot h \cdot d$$

Si queremos ahora calcular la presión ejercida por el líquido sobre la superficie S, recordando que la presión es igual a la fuerza ejercida dividida por la superficie sobre que se ejerce, será:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{S \cdot h \cdot d}{S} = h \cdot d$$

Como se ve, la presión sólo depende de la densidad del líquido y de la distancia que hay desde el punto donde se encuentra la superficie a la superficie libre del mismo. Podemos decir, por tanto, que *la presión ejercida*

por un líquido en un punto cualquiera de su masa se halla multiplicando la distancia desde el punto considerado a la superficie libre por la densidad del líquido. Si la distancia se mide en centímetros, la presión viene medida en gramos por centímetro cuadrado.

Teorema fundamental de la hidrostática. Consecuencias. — Sean dos puntos A y B de una masa líquida. Si las distancias respectivas de dichos puntos a la superficie libre son h_1 y h_2, las presiones del líquido en ambos puntos serán:

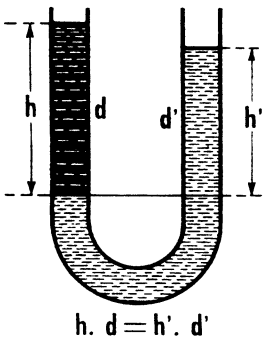
$$P_1 = h_1 d \qquad P_2 = h_2 d$$

y, por tanto, la diferencia de presión entre los dos puntos será:

$$P_2 - P_1 = h_2 d - h_1 d = d(h_2 - h_1)$$

Esto quiere decir que: *la diferencia de presión entre dos puntos de una masa líquida en equilibrio es igual al producto de la densidad del líquido por la distancia vertical entre ellos.*

Este enunciado se conoce con el nombre de teorema fundamental de la Hidrostática.



Las alturas alcanzadas por dos líquidos diferentes en dos vasos comunicantes están en razón inversa de sus respectivas densidades.

Del enunciado anterior se deducen dos importantes consecuencias:

1.ª Cuando entre dos puntos la distancia vertical sea igual a cero, la diferencia de presión entre ellos será nula y por tanto: *todos los puntos de un líquido situados en un plano horizontal tienen igual presión.*

2.ª Siendo esto así, supongamos dos vasos comunicantes, cada una de cuyas ramas esté ocupada por un líquido de distinta densidad. En dos puntos situados en el mismo plano horizontal, cada uno en un vaso, habrá igual presión y éstas valen:

$$P_1 = h_1 d_1 \qquad \text{y} \qquad P_2 = h_2 d_2$$

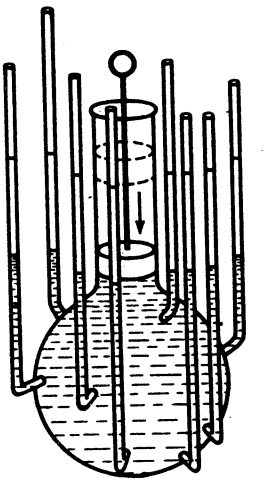
y siendo iguales se tiene:

$$h_1 d_1 = h_2 d_2 \qquad \text{de donde} \qquad \frac{h_1}{h_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

que expresa que: *las alturas alcanzadas en dos vasos comunicantes por líquidos de distinta densidad, son inversamente proporcionales a las densidades respectivas.* (Ley de los vasos comunicantes.)

Si la densidad de los líquidos en los dos vasos es la misma, la altura alcanzada también será igual.

Transmisión de las presiones en los líquidos. Teorema de Pascal. — Tomemos un tubo por cuyo interior pueda moverse a modo de émbolo un cilindro macizo y que termina por su parte inferior en una esfera con varios orificios, a los cuales se aplican otros tantos tubos acodados con sus ramas libres verticales. Si llenamos de agua este aparato y ejercemos sobre ella una presión mediante el émbolo, observaremos que el agua asciende por todos los tubos, lo que demuestra que la presión ejercida por nosotros se ha comunicado a todos los puntos de la masa de agua.



La presión ejercida sobre la superficie del líquido mediante el émbolo, se transmite a todos los puntos del mismo y hace subir a éste por todos los tubos.

Supongamos un vaso cilíndrico conteniendo agua sobre cuya superficie disponemos un émbolo sin peso que ajusta perfectamente sobre las paredes del vaso. En un punto de la superficie del agua la presión será nula (despreciando la presión atmosférica) y en un punto A, situado a una profundidad h, la presión valdrá $p = h \cdot d$. Si ahora por medio del émbolo ejercemos sobre la superficie del agua una presión determinada p', conforme con el principio fundamental enunciado, la diferencia de presiones entre la superficie y el punto A no puede ser distinta, puesto que sólo depende de

la diferencia de alturas. Esto significa que ahora en el punto *A* existirá una nueva presión que será igual a la primitiva más la presión *p'* ejercida por nosotros mediante el émbolo. Es decir, que: *la presión ejercida en un punto cualquiera de una masa líquida, se transmite íntegramente a todos los puntos de la misma.*

Este enunciado se conoce con el nombre de teorema de Pascal, pues fue este físico quien lo enunció primeramente.

Prensa hidráulica. — Una aplicación del principio de Pascal es la prensa hidráulica.

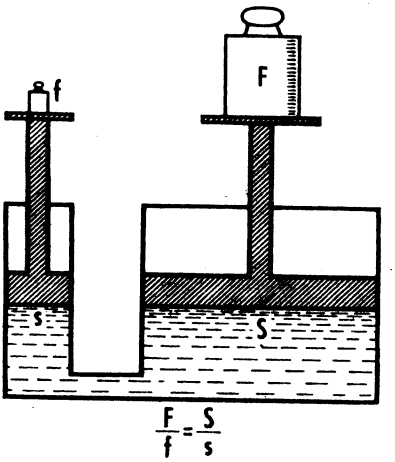
Supongamos dos vasos comunicantes, cuyas secciones sean respectivamente 100 y 10 cm^2, y en ellos ponemos agua que en ambos alcanza el mismo nivel. Pongamos ahora sobre la superficie libre del agua en los dos vasos dos cilindros macizos cortos que actúen de émbolos, ajustándose suavemente a las paredes de los tubos.

Si sobre el émbolo del tubo estrecho colocamos un peso de diez kilos, actuará sobre la superficie libre del agua en aquel tubo, que es de 10 cm^2, y ejercerá una presión que calcularemos dividiendo la fuerza ejercida por la superficie sobre la que se reparte; es decir, que la presión valdrá:

$$p = \frac{10 \text{ kg}}{10 \text{ cm}^2} = 1 \text{ kg/cm}^2,$$

o sea, un kilo por centímetro cuadrado.

Esta presión, según el principio de Pascal que acabamos de enunciar, se transmite íntegramente a todos los puntos de la masa líquida y, por tanto, a los puntos de la superficie libre del líquido en el vaso ancho, la cual actuará sobre su respectivo émbolo y lo desplazará hacia arriba. Si se quiere impedir este desplazamiento, será necesario contrarrestar la



Las fuerzas ejercidas sobre los émbolos de estos vasos comunicantes están en equilibrio cuando están en la misma relación que las superficies de los mismos.

fuerza que se ejerce sobre él, que, según sabemos, vale un kilo por cada centímetro cuadrado. Puesto que su superficie vale 100 cm², será preciso colocar sobre él un peso de 100 kilos.

Resulta así que, ejerciendo sobre la superficie del tubo estrecho una fuerza, se obtiene en el ancho otra diez veces mayor. Precisamente, las fuerzas están en la misma relación que las secciones de los tubos, lo que se expresa por la proporción:

$$\frac{F}{f} = \frac{S}{s}$$

Éste es el principio de la prensa hidráulica, que consta esencialmente de dos cilindros o cuerpos de bomba de secciones diferentes que se comunican entre sí. En cada uno de ellos se mueve un émbolo, el mayor de los cuales termina en una plataforma destinada a recibir los cuerpos que se quieren comprimir.

La fuerza ejercida sobre el más estrecho se transmite al otro, con una intensidad tantas veces mayor como sea la sección del segundo respecto al primero.

Las prensas hidráulicas tienen gran aplicación en la industria cuando se desea producir grandes presiones.

Así ocurre para obtener aceite de oliva. La aceituna machacada y convertida en pasta se coloca en unos capachos de esparto que se depositan uno sobre otro en la plataforma del émbolo mayor de la prensa. Cuando comienza a actuar el émbolo de pequeña sección, el mayor asciende, comprimiendo los capachos fuertemente y haciendo escurrir el aceite que contiene la pasta de aceituna.

Con estas prensas hidráulicas se pueden obtener fuerzas hasta de cien toneladas.

Ejercicios

Definir lo que se entiende por presión de una fuerza sobre una superficie y poner algún ejemplo.

Definir qué se entiende por presión de un líquido en un punto del interior de su masa y en un punto de la pared o del fondo de la vasija que lo contiene.

Enunciar el teorema de Pascal y explicar, ayudándose de un dibujo sencillo, cómo funciona una prensa hidráulica.

Problemas

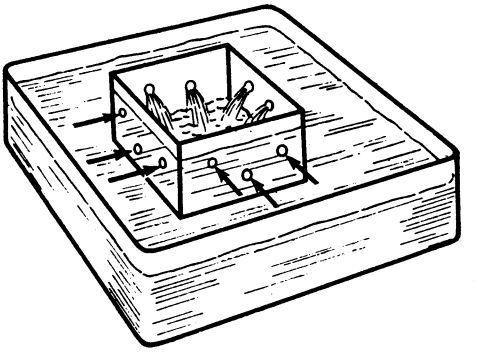
1. Una columna de 2000 kilos descansa sobre una base cuadrada de 20 cm de lado. ¿Qué presión soporta la superficie de su base? (Resp.: 5 kg-peso/cm².)

2. En el fondo de un embalse, a 110 m de profundidad, existe una compuerta que tiene 4 m² de superficie. ¿Cuánto vale la presión del agua sobre la compuerta y la fuerza total que ésta soporta? (Resp.: $p = 11$ kg/cm²; $F = 440\,000$ kg.)

3. Calcular la presión en el fondo de una vasija llena de mercurio, sabiendo que la distancia del fondo a la superficie libre es de 1 m y calcular también la diferencia de presión entre dos puntos cuya distancia vertical es de 10 cm (densidad del mercurio $D = 13{,}59$). (Resp.: $p = 1359$ g/cm²; $p_2 - p_1 = 135{,}9$ g/cm².)

10. CUERPOS SUMERGIDOS Y FLOTANTES. PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

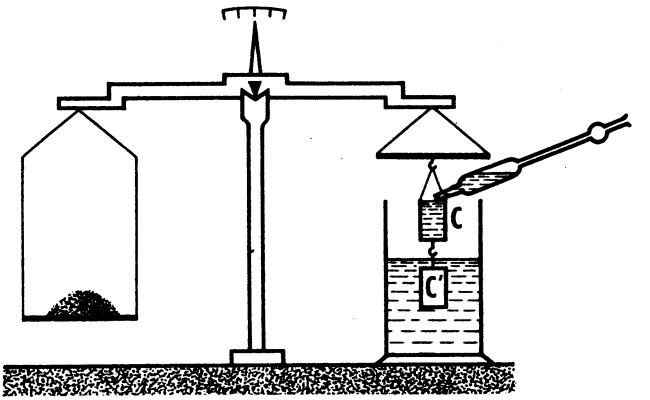
Empuje de los líquidos sobre los cuerpos sumergidos. — Introduzcamos en una vasija con agua una caja metálica vacía, con la abertura hacia arriba. Notaremos primeramente que para introducirla hemos de vencer cierta resistencia que opone el líquido. Si en las paredes de la caja practicamos una serie de pequeños orificios, al introducirla en el agua observaremos que ésta penetra en el interior de la caja por todos los orificios de sus paredes. Esto prueba que el líquido exterior ejerce una presión sobre las paredes y sobre el fondo de la caja, cuyo resultado es un empuje hacia arriba que tenemos que vencer para sumergirla.



La presión del líquido sobre las paredes de la caja hace penetrar el líquido por todos los orificios de aquélla.

Teorema de Arquímedes. — Para determinar este empuje de abajo arriba que sufre un cuerpo sumergido en un líquido, se usa la *balanza hidrostática*. Ésta es una balanza ordinaria sin más diferencia que el que uno de sus platillos queda mucho más alto que otro, y tiene en su parte

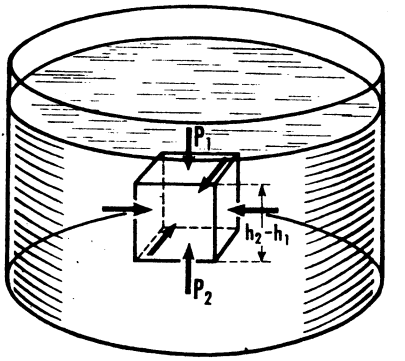
inferior un ganchito. Colguemos de éste un cilindro hueco *C*, y de éste, a su vez, otro macizo *C'*, cuyo volumen es exactamente igual a la capacidad del cilindro hueco. Equilibremos el peso de ambos colocando en el otro platillo de la balanza perdigones o arena en la cantidad necesaria. Si sumergimos ahora el cilindro macizo en agua o en otro líquido cualquiera, la balanza se desequilibrará.



La balanza queda nuevamente en equilibrio, conforme con el principio de Arquímedes, cuando el cilindro *C*, cuya capacidad es igual al volumen del cilindro macizo *C'*, queda lleno con el mismo líquido en que se ha sumergido este último.

Para establecer el equilibrio basta con llenar de líquido el cilindro hueco. Esto prueba que el empuje que sufre hacia arriba el cilindro *C'*, es igual al peso de un volumen de líquido igual al suyo.

A igual resultado se llega teóricamente partiendo del principio fundamental de la Hidrostática.



Las fuerzas ejercidas sobre las paredes laterales de este cubo por el líquido en que está sumergido se contrarrestan y anulan. La diferencia entre la fuerza ejercida de abajo arriba y la ejercida de arriba abajo es el empuje a que se refiere el principio de Arquímedes.

Efectivamente: Supongamos un cubo o hexaedro sumergido en el seno de un líquido de forma que dos de sus caras queden en planos horizontales Es evidente que las presiones que reciben las caras laterales se contrarrestan y anulan dos a dos. En cambio no sucede lo mismo con las que reciben las paredes que se encuentran en planos horizontales: La presión que recibe la cara superior es más pequeña que la que recibe la inferior, y según el Principio fundamental esa diferencia vale:

$$p = P_2 - P_1 = (h_2 - h_1)d$$

donde h_1 y h_2 son las distancias desde ambas caras a la superficie libre y d la densidad del líquido.

Si ahora queremos calcular la fuerza ejercida hacia arriba por esa presión al actuar sobre la cara inferior del cubo, tendremos que multiplicar por el valor de la superficie sobre que actúa, es decir:

$$F = p \cdot S = (h_2 - h_1) \cdot d \cdot \mathrm{S}$$

y como $h_2 - h_1$ es la altura del cubo, el producto $(h_2 - h_1) \cdot S$ es precisamente su volumen y el producto $(h_2 - h_1)S \cdot d$ es el peso del volumen de líquido desalojado, tal como habíamos dicho.

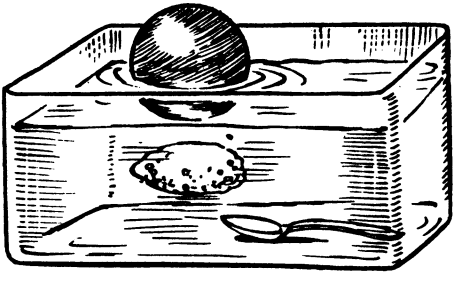
El mismo razonamiento y el mismo resultado se llega cuando se trata de un cuerpo sumergido en un gas.

En esto consiste el teorema de Arquímedes, que se enuncia diciendo:

Todo cuerpo sumergido en un fluido, líquido o gas, recibe por parte de éste un empuje vertical hacia arriba igual al peso del volumen del fluido desalojado.

Cuerpos sumergidos y flotantes. Peso aparente de los cuerpos sumergidos. — De acuerdo con lo expresado por el principio de Arquímedes, todo cuerpo sumergido en un fluido está sometido a una fuerza vertical hacia arriba, que es lo que llamamos empuje. Pero al mismo tiempo el cuerpo está solicitado por otra fuerza vertical hacia abajo, que es su propio peso.

Según sean ambas fuerzas, pueden darse los tres casos siguientes:



Un cuerpo flota, queda entre dos aguas o se hunde según que su peso sea menor, igual o mayor que el peso del líquido que desaloja.

1. *Si el peso del cuerpo es menor que el empuje* ($P < E$) *del líquido, el cuerpo sale a la superficie, impulsado por una fuerza igual a la diferencia entre el empuje y el peso del cuerpo* ($E - P$). En este caso el cuerpo queda en equilibrio cuando una parte del mismo emerge del líquido. El peso del cuerpo es igual al de un volumen de líquido igual a la parte del mismo que queda por debajo de la línea de flotación.

2. *Si ambas fuerzas son iguales* ($P = E$), *el cuerpo queda en equilibrio en cualquier punto del líquido, sin que se hunda ni flote.*

3. *Si el peso del cuerpo es mayor que el empuje del líquido* ($P > E$), *el cuerpo se hunde solicitado por una fuerza igual a la diferencia entre el peso y el empuje* ($P - E$). Esta fuerza se llama *peso aparente* del cuerpo sumergido en el líquido, y es, naturalmente, menor que el peso del mismo.

Peso aparente de los cuerpos sumergidos en un gas. — Del mismo modo que en el caso de cuerpos sumergidos en líquidos, los cuerpos sumergidos en gases quedan sometidos a dos fuerzas, verticales y opuestas, que son su peso y el empuje del gas. Si predomina el primero, el cuerpo cae solicitado por una fuerza llamada peso aparente, igual a la diferencia entre su peso en el vacío (llamado peso real) y el peso del volumen de gas desalojado. Si ambos pesos son iguales, el cuerpo queda en equilibrio en cualquier punto en que se encuentre. Por último, si el empuje que recibe por parte del gas es superior a su propio peso, el cuerpo asciende solicitado por una fuerza llamada ascensional, que es igual a la diferencia entre el empuje y el peso del cuerpo. Éste es el fundamento de los globos aerostáticos y dirigibles.

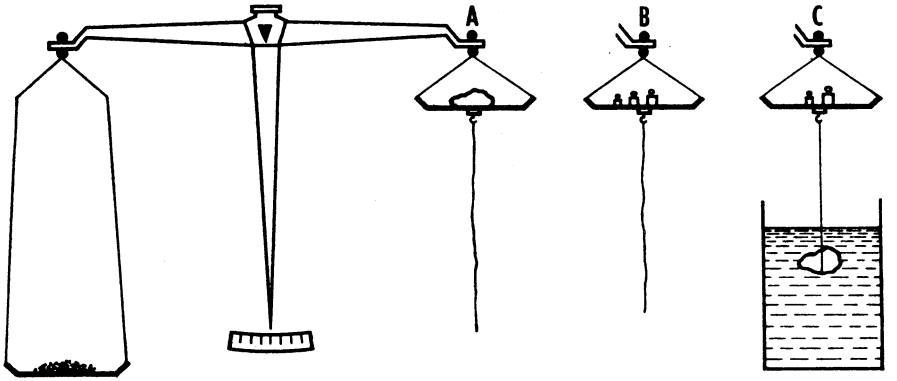
Determinación de la densidad de un sólido por la balanza hidrostática. — El teorema de Arquímedes permite determinar fácilmente la densidad de un sólido mediante la balanza hidrostática, recordando que llamamos densidad de un cuerpo a la relación o cociente entre la masa de éste y la masa de un volumen igual de agua, medido a 4° centígrados,

$$d = \frac{m_1}{m_2}$$

y operando del modo siguiente:

Tomemos el cuerpo cuya densidad se quiere averiguar y pesémoslo con una balanza cualquiera o con la misma balanza histrostática, sea m_1 el valor hallado.

Suspendamos ahora el cuerpo del platillo corto de la balanza hidrostática, mediante un hilo muy fino, y equilibremos la balanza poniendo en su otro platillo arena o perdigones finos. Si se sumerge el cuerpo en un vaso con agua, la balanza se desequilibrará debido al empuje que el cuerpo recibe por parte del agua, el cual es, según el teorema de Arquímedes, igual al peso del agua desalojada. Por tanto, si añadimos al platillo del



El principio de Arquímedes permite determinar la densidad de un líquido mediante la balanza hidrostática.

que pende el cuerpo con que estamos experimentando las pesas necesarias para restablecer el equilibrio de la balanza, esas pesas representan el peso de un volumen de agua igual al del cuerpo sumergido. Si m_2 es este valor, la densidad del cuerpo será:

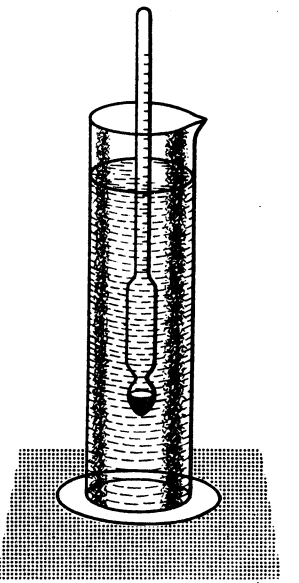
$$d = \frac{m_1}{m_2}$$

Determinación de la densidad de un líquido por la balanza hidrostática. — También puede determinarse la densidad de un líquido por el mismo método. Para ello se suspende del platillo corto de una balanza hidrostática una esferita de vidrio o metálica, que no se disuelva o se ataque por el líquido con que vamos a operar, y se equilibra la balanza con arena o perdigones. Después se sumerge sucesivamente en el líquido cuya densidad se quiere determinar y en agua pura. Si m_1 y m_2 son las pesas que hemos tenido que colocar sobre el platillo de la balanza para equilibrarla en cada caso, éstas representan las masas de dos volúmenes iguales (el volumen de la esferita) del líquido y del agua respectivamente. Por tanto, la densidad del líquido será:

$$d = \frac{m_1}{m_2}$$

Areómetros de peso constante. — *Un areómetro de peso constante es un flotador de vidrio formado por una ampolla cilíndrica, lastrada con mercurio o perdigones para que flote verticalmente, y unida por su parte superior a un tubo más estrecho y largo sobre el cual va una escala graduada para indicar la densidad de los líquidos.*

Cuando el areómetro se pone a flotar en un líquido, se hunde más o menos según que éste sea más o menos denso. Efectivamente: el areómetro queda en equilibrio cuando su peso es igual al empuje que recibe por parte del líquido, de modo que se hunde más y más hasta que el líquido desalojado pesa tanto como el areómetro. Cuanto menos denso sea el líquido, más tendrá que hundirse para que esto suceda.



Este areómetro de peso constante se hunde más o menos según que la densidad del líquido sea menor o mayor. En la escala que lleva en su parte estrecha se lee directamente la densidad del líquido en la división que enrasa con la superficie de éste.

El areómetro se gradúa sumergiéndolo en una serie de líquidos de densidades conocidas y señalando los valores de éstas sobre el tubo estrecho en aquellos puntos adonde alcanza la superficie del líquido en cada caso. Cuando el aparato se sumerge en un líquido de densidad desconocida, su densidad se puede leer directamente sobre la escala así formada.

Los areómetros que dan por lectura directa la densidad de los líquidos reciben el nombre de *densímetros.*

Otras veces los areómetros no indican la densidad de los líquidos, sino otras propiedades del líquido relacionadas con la densidad, como por ejemplo en los *alcoholómetros* el tanto por ciento de alcohol que contiene una solución acuosa de este líquido. Para ello la escala se forma marcando el cero en el punto hasta donde se hunde el aparato en el agua pura y cien en el punto hasta donde se hunde en el alcohol puro. Los puntos intermedios se marcan sumergiendo el aparato en mezclas hidroalcohólicas de porcentajes conocidos (5 % de alcohol, 10 %, etc.) y dividiendo en partes iguales los intervalos resultantes.

El *areómetro Baumé* tiene una graduación convencional en los llamados grados Baumé. Se gradúa marcando el 66° cuando se sumerge el areómetro en ácido sulfúrico del 99 % de pureza y 52° cuando se sumerge en ácido sulfúrico de 64 %, dividiendo luego el intervalo entre ambas marcas en dieciséis partes iguales.

Ejercicios

Enunciar el principio de Arquímedes. ¿Por qué razón puede un cuerpo flotar en el agua del mar y hundirse en agua destilada?

¿Cuándo un cuerpo flota, se hunde o queda entre dos aguas? Explíquese cuándo sucede cada cosa y defínase lo que se entiende por peso aparente de un cuerpo sumergido en un líquido o un gas.

Problemas

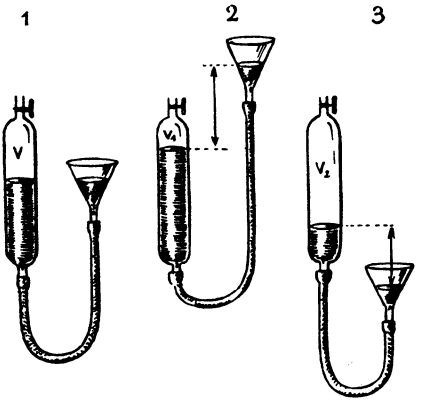
1. Un cubo de níquel ($D = 8{,}8$) de 1 cm de arista se sumerge en agua. ¿Cuál es su peso aparente? (Resp.: 7,8 g.)
2. Un areómetro de peso constante pesa 25 g. ¿Cuál será el volumen de la parte sumergida cuando se encuentre flotando sobre alcohol? (Densidad del alcohol $D = 0{,}789$.) (Resp.: 31,68 cm^3.)
3. Un cuerpo suspendido mediante un hilo sin peso de un dinamómetro pesa 35 g y cuando se sumerge en el agua acusa un peso en el mismo dinamómetro de 31,7 g. ¿Cuál es su volumen? ¿Cuál es su densidad? (Resp.: $V = 3{,}3$ cm^3; $D = 10{,}5$.)

11. PRESIÓN DE LOS GASES

Compresibilidad de los gases. Ley de Boyle y Mariotte. — Los gases se caracterizan por no tener forma propia y adoptar la de la vasija que los contiene, diferenciándose de los líquidos en que tienden a ocupar todo el volumen del recipiente donde están contenidos. Esta propiedad se llama *expansibilidad.*

Cuando una masa de gas se encuentra dentro de un recipiente herméticamente cerrado, y mediante un artificio cualquiera se modifica su volumen, el gas sigue ocupando todo el volumen del recipiente, pero su presión queda modificada también, resultando que el volumen de un gas depende de la presión a que está sometido.

Tomemos un tubo graduado de sección uniforme provisto de una llave en uno de sus extremos, el cual, colocado verticalmente, se une por su otro



En la posición 2, el volumen del gas es la mitad que en la posición 1, y en la 3, doble que en la 1, porque la presión a que está sometido es, respectivamente, doble y mitad, conforme con la Ley de Boyle y Mariotte.

extremo a un depósito de mercurio mediante un tubo de goma. Manteniendo la llave abierta, se mueve el depósito de mercurio hasta que éste alcanza en el tubo una altura determinada, que será la misma que la alcanzada en aquel momento en el depósito, según el principio de los vasos comunicantes. Cerrando la llave queda dentro del tubo una masa de gas, cuyo volumen se mide por simple lectura en la escala grabada sobre el tubo, y a una presión igual a la atmosférica. Si entonces se eleva el depósito del mercurio hasta producir un desnivel igual a la altura de la columna barométrica, se comprueba fácilmente que el volumen del gas se reduce a la mitad del inicial, y si se baja el depósito hasta producir un desnivel (el nivel del depósito más bajo que el del tubo) igual a la mitad de la altura barométrica, el volumen del gas aumenta hasta un valor doble del inicial.

Se comprende que mientras en la posición inicial la presión del gas es igual a la atmosférica, en la segunda posición es igual a dos veces la presión atmosférica, y en la tercera posición es igual a la mitad de la presión atmosférica. Con este experimento queda demostrado que el volumen del gas se reduce a la mitad al aumentar su presión al doble del valor inicial y se duplica cuando la presión se hace igual a la mitad de la primitiva.

La relación que existe entre la presión de un gas y el volumen que ocupa, se conoce con el nombre de ley de Boyle y Mariotte, que se expresa diciendo:

A temperatura constante, el volumen ocupado por un gas está en razón inversa de la presión que soporta.

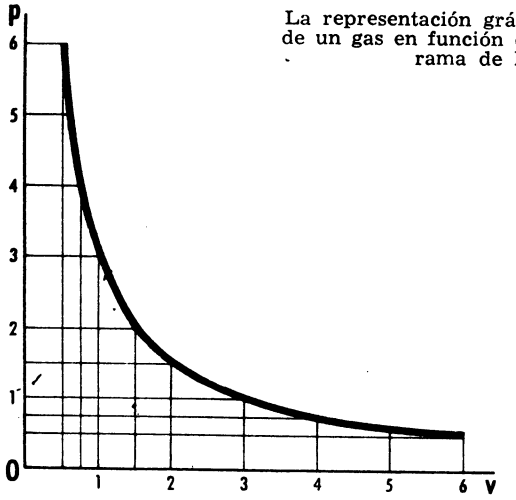
Es decir, que si V_1 y V_2 son los volúmenes ocupados por un gas a las presiones P_1 y P_2, respectivamente, se tiene que

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \qquad \text{o bien} \qquad P_1V_1 = P_2V_2 = \text{constante.}$$

La ley de Boyle y Mariotte se expresa también diciendo que: *A temperatura constante el producto del volumen de un gas por su presión es una cantidad constante.*

Representación gráfica de la ley de Boyle y Mariotte. — Puesto que esta ley establece una relación entre el volumen y la presión de un gas, una de las dos magnitudes puede considerarse como dependiente de la otra; es posible representar gráficamente la variación del volumen de un gas cuando se hace variar la presión que soporta, y viceversa.

Para ello basta, como siempre, tomar un sistema de ejes de coordenadas cartesianas, y tomar sobre el eje de abscisas distancias iguales que representen valores del volumen, y sobre el eje de ordenadas otras distancias también iguales que representen presiones. Formando una tabla de valores de las presiones del gas y los correspondientes valores de su volu-

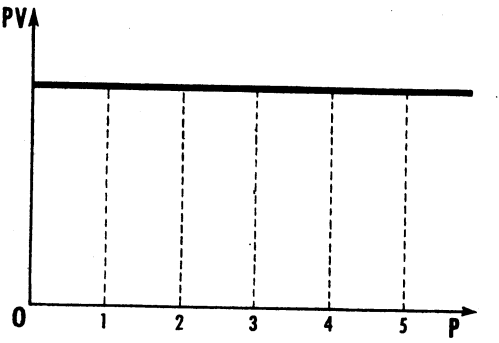


La representación gráfica de la variación del volumen de un gas en función de la presión que soporta es una rama de hipérbola equilátera.

men, y llevando estos valores al sistema de ejes, obtendremos los puntos de la gráfica, trazando por los puntos correspondientes a cada pareja de valores paralelas a los ejes hasta que se corten. Uniendo mediante un trazo continuo los puntos obtenidos se tendrá dibujada la gráfica que buscamos, la cual resulta ser una hipérbola equilátera, cuyas asíntotas son los ejes coordenados.

Puede también representarse gráficamente la ley de Mariotte tomando en el eje de ordenadas los valores del producto $p \cdot v$ y en el eje de abscisas los de la presión. En este caso, puesto que la ley de Mariotte expresa que el producto $p \cdot v$ debe ser constante, la representación gráfica obtenida será una recta paralela al eje de abscisas.

Cuando en el eje de ordenadas se toma el producto PV y en el de abscisas los valores de P, la representación gráfica es una recta paralela al eje de abscisas.



Desviaciones de la ley de Boyle y Mariotte. Gases perfectos y reales. — Cuando se realiza con todo cuidado el experimento indicado para la comprobación de la ley de Mariotte, se observa que, en realidad, la ley no se cumple exactamente, y lo mismo ocurre cuando se trata de obtener la representación gráfica de la citada ley.

Ello es debido a que al comprimir un gas y hacer con ello que sus moléculas se sitúen a menor distancia unas de otras, la atracción entre ellas ayuda a reducir sus distancias y disminuir el volumen del gas. En cambio, cuando el volumen tiene ya un valor muy pequeño, las moléculas se encuentran demasiado próximas, interviniendo entonces el volumen real de las moléculas, que naturalmente no puede disminuir.

De lo dicho se deduce que solamente se cumpliría perfectamente la ley de Mariotte cuando se realizasen las experiencias con un gas cuyas moléculas no presentasen entre ellas fuerzas de cohesión aunque se encontrasen muy próximas, y cuyo volumen fuese realmente nulo, es decir, sería un gas cuyas moléculas serían puntos sin dimensiones y sin masa. Un gas en estas condiciones, que naturalmente no se dan nunca en la realidad, recibe el nombre de *gas ideal*. Todos los demás gases, que cumplen más o menos aproximadamente la ley de Mariotte, reciben el nombre de *gases reales*. De éstos, los que se encuentran en condiciones muy diferentes de las que necesitan para licuarse y que cumplen bastante bien la ley de Mariotte reciben el nombre de *gases perfectos*.

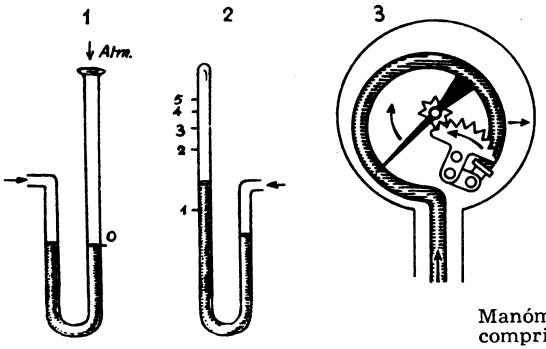
Medida de la presión de los gases. Manómetros. — *Se llaman manómetros los aparatos destinados a medir la presión de los gases.* Estos aparatos se construyen de diversas maneras, según los límites de presión entre los que han de utilizarse.

El *manómetro de aire libre* se usa cuando se han de medir presiones no muy diferentes de la presión atmosférica. Consta esencialmente de un tubo en U que contiene mercurio u otro líquido, una de cuyas ramas se pone en contacto con el recipiente donde se quiere medir la presión, mientras la otra rama abierta se encuentra en comunicación libre con la atmós-

fera. Cuando la presión del gas que queremos medir es igual a la atmosférica, el mercurio se encuentra a igual altura en las dos ramas del manómetro; pero cuando la presión que se quiere medir es superior o inferior a la atmosférica, se produce un desnivel entre dichas ramas, que representa una presión hidrostática que vale:

$$p = h \cdot d$$

donde h es la diferencia de niveles y d la densidad del líquido. Si h se mide en centímetros, la presión viene dada en gramos por centímetro cuadrado.



Manómetros: 1, de aire libre; 2, de aire comprimido; 3, manómetro metálico.

Para medir presiones mayores puede usarse el *manómetro de aire comprimido,* que se funda en la ley de Boyle y Mariotte. Consiste también en un tubo en ⊔, una de cuyas ramas se encuentra cerrada, y la otra, abierta, se pone en comunicación con el recinto donde se quiere medir la presión. El tubo tiene cierta cantidad de mercurio, que alcanza la misma altura en ambas ramas cuando la abierta se encuentra en comunicación con la atmósfera y que deja aislada en la rama cerrada una cantidad de aire. Si al poner en comunicación el manómetro con un recipiente, el volumen de este aire se reduce, la presión se podrá calcular fácilmente, conociendo el volumen del gas, de acuerdo con la ley de Mariotte. En realidad, lo que se hace es graduar el tubo cerrado a partir del nivel del mercurio, cuando el aparato se encuentra en comunicación con la atmósfera, donde se marca el número 1, grabando el 2, 3, 4, etc., a alturas que corresponden a volúmenes mitad, tercera parte, cuarta parte, etc., de forma que cuando el mercurio llega a dichas divisiones, la presión correspondiente es de dos, tres, cuatro, etc., atmósferas.

Finalmente, *el manómetro metálico* consiste en un tubo de acero elástico de sección elíptica y doblado en forma de cayado, cerrado por un extremo, mientras que por el otro se pone en comunicación con el recinto cuya presión se quiere medir. El extremo cerrado del tubo está unido

a un mecanismo situado en el centro del cayado, de manera que sus movimientos se traducen en el de una aguja indicadora.

Cuando el manómetro se pone en comunicación con un recipiente cuya presión es superior a la atmosférica, el gas del mismo penetra por el tubo del manómetro y su presión hace que tienda a enderezarse, moviéndose su extremo y con él la aguja indicadora, que señala sobre la escala la presión que se está midiendo. Previamente es necesario graduar el aparato por comparación con otro patrón.

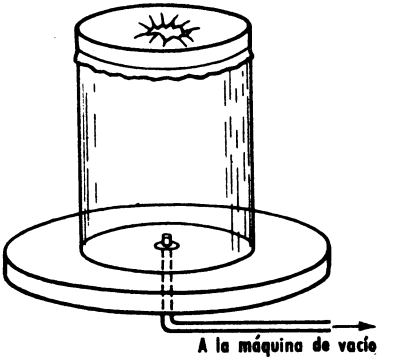
Cuando se desconecta el manómetro, el tubo elástico recobra su posición primitiva y la aguja vuelve a su posición de cero.

La atmósfera. — *La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la Tierra y está constituida por el aire.* Forma parte de nuestro planeta, al que sigue en sus movimientos de rotación y traslación.

Su espesor es difícil de determinar con exactitud. Se le atribuye un espesor de unos 80 km, a lo que se le llama *atmósfera efectiva.* En esta capa, a su vez, suelen considerarse varias zonas; una primera, hasta una altura de 4000 m, de composición sensiblemente constante, que es donde tienen lugar todas las perturbaciones atmosféricas, vientos, lluvias, tormentas, etc. Una segunda capa, comprendida entre los 4000 y los 11 000 m, donde el aire va enrareciéndose y se empobrece en oxígeno; se encuentra en calma y sólo se observan movimientos verticales del aire. Estas dos capas, que en conjunto alcanzan 11 000 m, constituyen la *troposfera.*

Recibe el nombre de *estratosfera* una capa comprendida entre los 11 000 y los 80 000 m, en la que el aire se encuentra en completo reposo y se hace francamente irrespirable. Por encima de los 80 km de altura, el aire se encuentra sumamente enrarecido y tiene unas propiedades completamente diferentes a las del aire que conocemos.

Presión atmosférica. — Tomemos un tubo, una de cuyas bocas se adapte perfectamente a la platina de una máquina de vacío, mientras que la otra



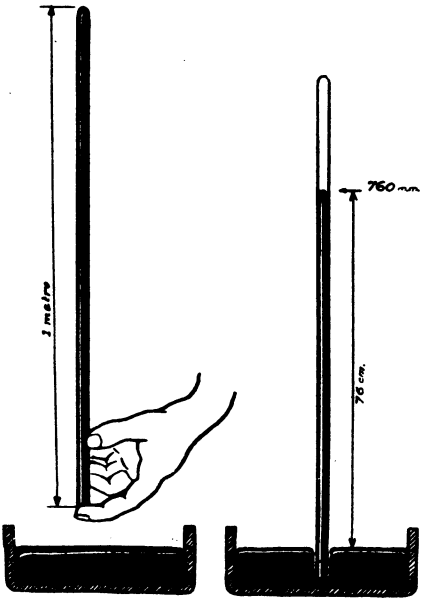
Cuando se hace el vacío en este tubo, cerrado por su parte superior mediante una vejiga o membrana de goma, la presión atmosférica deprime la vejiga y termina por romperla con estrépito.

la tapamos mediante una membrana de goma. Extraigamos el aire del interior del tubo y observaremos que la vejiga comienza a deprimirse y termina por romperse con estrépito, debido al empuje del aire exterior.

Esta experiencia prueba que *el aire gravita sobre los cuerpos que se encuentran en el seno de la atmósfera y ejerce sobre ellos una presión que recibe el nombre de presión atmosférica.*

Medida de la presión atmosférica. Experimento de Torricelli. — La presión atmosférica no puede calcularse como cuando se trata de la presión de un líquido, no sólo porque no se conoce exactamente la altura de la atmósfera, sino porque la densidad del aire varía con la altura, sin que se sepa exactamente cómo varía.

Sin embargo, puede realizarse una experiencia que fue realizada por primera vez por Torricelli, que permite averiguar el valor de la presión atmosférica.



Experimento de Torricelli: el mercurio contenido en el tubo desciende a una altura de 760 mm sobre el nivel del mercurio de la cubeta.

Tomemos un tubo de vidrio de un metro de largo, cerrado por un extremo y llenémoslo completamente de mercurio. Tapando el extremo abierto con un dedo, se invierte y se introduce en una cubeta que contiene también mercurio. Al retirar el dedo, manteniendo el tubo vertical, se observa que el mercurio desciende dentro del tubo, hasta quedar su nivel a unos 76 cm sobre el de la cubeta.

Sobre el nivel del mercurio dentro del tubo queda un espacio vacío llamado *vacío de Torricelli o cámara barométrica.*

La explicación de esta experiencia es fácil, recordando que todos los puntos de un plano horizontal en un líquido en equilibrio tienen igual presión. Consideremos dos puntos del plano horizontal determinado por la superficie libre del mercurio en la cubeta, uno en el interior del tubo y otro fuera de él. Ambos, según lo que acabamos de decir, deben soportar igual presión: El segundo soporta la presión atmosférica, mientras que el primero soporta la presión hidrostática, debida a la columna de mercurio que gravita sobre él. Luego *la presión atmosférica es equivalente a la que ejerce una columna de mercurio de 76 cm de altura.*

La presión atmosférica equivale a 1033 g por centímetro cuadrado. Esto quiere decir que un cuerpo en el seno de la atmósfera queda sometido a una fuerza de un kilo con treinta y tres gramos por cada centímetro cuadrado de su superficie.

Variación de la presión atmosférica. — El valor de la presión atmosférica no es el mismo en todos los puntos. Varía de unos puntos a otros, según la altura, pues cuanto mayor sea la altura de un punto, menor será la capa de aire que gravite sobre él y menor la presión atmosférica que soporte. Este hecho permite determinar la diferencia de altura entre dos puntos, conociendo la presión atmosférica que existe en cada uno de ellos. Este problema recibe el nombre de *nivelación barométrica.*

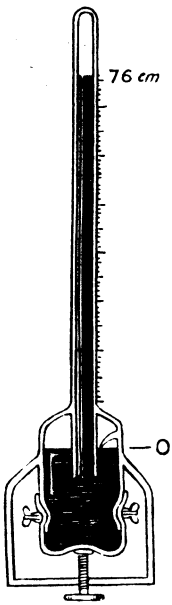
La presión atmosférica varía también en un mismo punto con el estado del tiempo, por lo que la presión atmosférica es un dato de gran valor para la previsión del tiempo.

Barómetros. — *Los barómetros son aparatos destinados a medir la presión atmosférica.* Son de dos tipos: de mercurio y metálicos.

Los barómetros de mercurio se basan en el experimento de Torricelli.

El mismo tubo de Torricelli constituye un barómetro sin más que sujetar el tubo y la cubeta a una tabla vertical, sobre la cual se graba paralelamente al tubo una escala en centímetros y milímetros, de modo que el cero de la misma quede al nivel del mercurio en la cubeta. Este barómetro ordinario tiene el inconveniente de que al variar la presión, el mercurio entra o sale en el tubo y hace variar el nivel de la cubeta, por lo que debe variarse la posición de la escala a cada lectura. Esto se evita con el de Fortín.

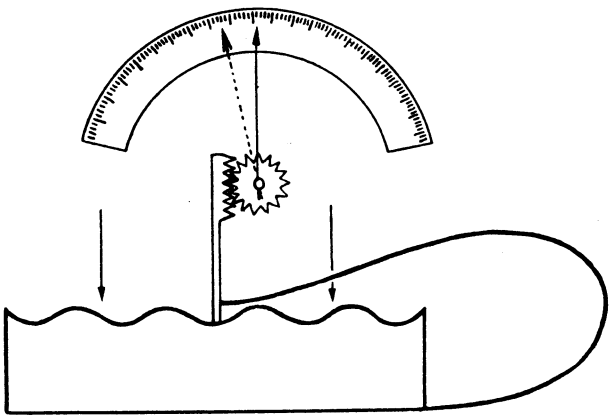
El *barómetro de Fortín* tiene la particularidad de que el fondo de la cubeta del mercurio es de gamuza y puede moverse para conseguir que el nivel del mismo quede a la altura del cero de la escala cada vez que vamos a efectuar una lectura. Esto se consigue mediante un tornillo inferior que actúa sobre el fondo de gamuza, hasta conseguir enrasar el nivel del mercurio con un índice de marfil que está a igual altura que el cero de la escala. Una vez enrasado el cero, la altura barométrica se lee directamente.



Barómetro de Fortín: el fondo movible de la cubeta permite enrasar el nivel del mercurio en la misma con el cero de la escala.

Otro barómetro de uso corriente es el de *escala compensada.* En éste la graduación de la escala no está hecha en centímetros y milímetros, sino de forma que se ha tenido en cuenta la elevación del nivel de la cubeta al descender la altura del mercurio dentro del tubo. De esta manera las lecturas se pueden hacer directamente.

Entre los *barómetros metálicos* el más extendido es el de Vidi. Éste consiste esencialmente en una caja cilíndrica de bases onduladas, en cuyo interior se ha hecho el vacío. Para equilibrar la presión atmosférica, que tiende a aproximar las bases de la caja, hay un potente resorte. Al aumentar o disminuir la presión, se modifica la distancia entre las bases de la caja y su movimiento se transmite mediante un juego de palancas a una aguja que recorre una escala. Estos barómetros se gradúan por comparación con los barómetros de mercurio.



Manómetro metálico. Al variar la presión atmosférica y deprimir más o menos la tapa ondulada de la caja metálica, la aguja del manómetro se mueve sobre una escala graduada, donde se lee la presión.

Ejercicios

Enúnciese la Ley de Boyle y Mariotte, y escríbase la fórmula que expresa dicha ley.

¿Por qué causas no cumplen exactamente la ley de Mariotte los gases reales? Descríbase la experiencia de Torricelli.

Problemas

1. Un gas ocupa 750 cm^3 a la presión atmosférica. ¿Qué volumen ocupará a una presión de 5 kg/cm^2 manteniendo constante su temperatura? (Resp.: 154,95 cm^3.)
2. Calcular la presión atmosférica en gramos por centímetro cuadrado sabiendo que la altura de la columna barométrica es de 76 cm. (Resp.: 1033 g/cm^2.)

12. CALOR Y TEMPERATURA. TERMÓMETROS

Noción de calor. — Cuando se introduce un hierro al rojo en agua fría, el hierro se enfría y el agua se calienta, y lo mismo sucede siempre que se ponen en contacto dos cuerpos a diferente temperatura: El caliente se enfría y el frío se calienta hasta que sus temperaturas se igualan.

Todos sabemos también que el calor es capaz, mediante máquinas adecuadas, de mover trenes, barcos, y que, en resumen es capaz de efectuar trabajos. Por todo esto, aunque siempre tenemos una idea intuitiva de lo que es calor porque conocemos la sensación que se recibe al acercarse a una estufa encendida (sensación de calor) y la que se siente al entrar en una cámara frigorífica (sensación de frío), puede definirse el calor diciendo que *es una forma de energía que reside en los cuerpos y que pasa de los calientes a los fríos cuando se ponen en contacto.*

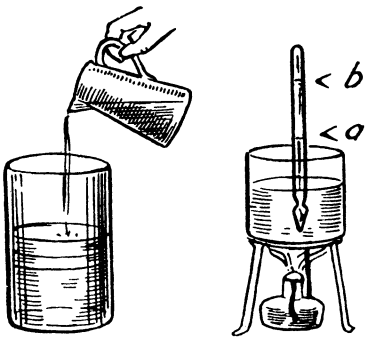
Noción de temperaturas. Diferencia entre calor y temperatura. — Cuando tocamos diferentes cuerpos sabemos fácilmente cuál está más caliente y cuál menos caliente o más frío. Incluso podríamos ordenar una serie de cuerpos desde el más frío al más caliente. Esto prueba que tenemos una noción intuitiva de la temperatura por nuestro sentido térmico.

La experiencia de introducir un hierro candente en agua fría que tiene como resultado que el hierro se enfríe y el agua se caliente, así como otras muchas experiencias que pueden hacerse fácilmente, pone de manifiesto que el calor es algo que realmente pasa de unos cuerpos a otros y que tiene la propiedad de calentar al cuerpo que lo recibe mientras que se

enfría el que lo pierde. Cuando un cuerpo se calienta se dice que su temperatura se eleva, y cuando se enfría se dice que su temperatura desciende.

Debemos, por tanto, distinguir claramente entre calor y temperatura.

El calor es una energía que produce, entre otros efectos, la elevación de temperatura de los cuerpos; la temperatura es una manifestación del calor en éstos.



Lo mismo que al añadir agua a una vasija se eleva su nivel, cuando se le da calor a un cuerpo aumenta su temperatura.

Entre el calor y la temperatura existe la misma relación que entre el agua y el nivel que ésta alcanza en la vasija que la contiene: Cuando vertemos agua en el interior de una vasija, su nivel se eleva a medida que vamos poniendo más y más agua; del mismo modo la temperatura de un cuerpo va elevándose a medida que le damos más y más calor. Por eso se dice también que *la temperatura es el nivel térmico de los cuerpos.*

Termómetros. — Aunque tocando los cuerpos nuestro sentido térmico nos dice cuál tiene temperatura más elevada y cuál más baja, no podemos distinguir pequeñas diferencias de temperatura ni comparar con seguridad las temperaturas de cuerpos si están alejados unos de otros. Por esto se ha procurado encontrar un medio que permita comparar sin error posible los estados térmicos, lo cual es posible determinando el volumen de algún cuerpo (generalmente mercurio) que varía al mismo tiempo que la temperatura.

Pongamos mercurio en un matraz tapado con un tapón atravesado por un tubito muy estrecho de modo que el mercurio llene completamente el matraz y ocupe parte del tubo. Calentemos el matraz y observaremos que a medida que se calienta, el volumen del mercurio aumenta y su nivel se eleva en el tubito, y cuando lo dejamos enfriar desciende. Esto se repite siempre de igual forma: el nivel del mercurio sube y baja al mismo tiempo que la temperatura, y más aún, siempre que alcance un mismo nivel podemos asegurar que tiene igual temperatura. Este sencillo aparato nos permite saber con seguridad si la temperatura del frasquito de mercurio

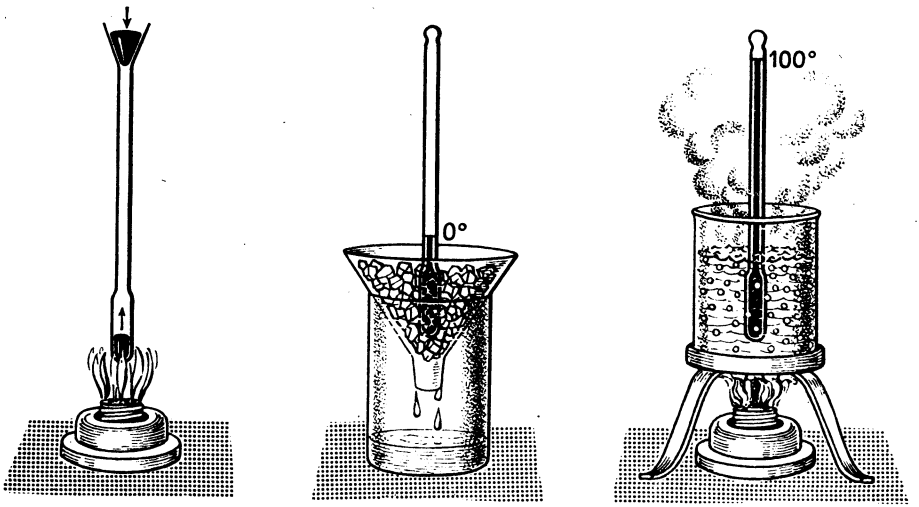
y de los cuerpos que estén en contacto con él, sube o baja y en cuál de dos ocasiones distintas es mayor que en otra.

Este aparato se hace más útil y se perfecciona grabando en el tubito una escala de forma que podamos tener una serie de puntos de referencia. Un aparato como éste, capaz de indicar y permitir la comparación de la temperatura de los cuerpos recibe el nombre de termómetro. *Se llaman termómetros los aparatos destinados a determinar y comparar la temperatura de los cuerpos.*

Termómetros de mercurio. — Los termómetros más frecuentes se construyen con mercurio. Constan de un pequeño depósito lleno de mercurio soldado a un tubito cerrado por el extremo opuesto al depósito. Este tubo es sumamente estrecho y de sección constante, para que el menor aumento del volumen del mercurio dé lugar a una elevación apreciable de su nivel. El mercurio llena normalmente el depósito y parte del tubo. Cuando su temperatura se eleva, el nivel del mercurio sube; cuando baja, el nivel del mercurio desciende. El tubito capilar lleva graduada una escala numerada, de manera que el número de la división alcanzada por el nivel del mercurio indica la temperatura que se mide.

En otros tipos de termómetros, en lugar de mercurio se emplea alcohol coloreado de rojo o de azul, para hacerlo más visible, o algún otro líquido.

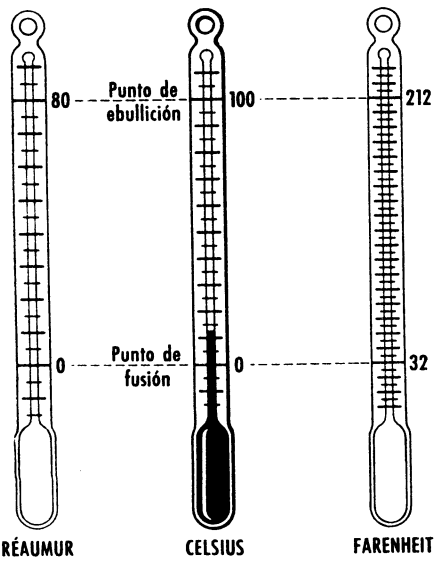
Escalas termométricas. — Es conveniente que las escalas de los termómetros se graben siempre de la misma manera. Ordinariamente se emplean tres clases de escalas.



Forma de llenar un termómetro y marcar sus puntos fijos. El cero corresponde al nivel del mercurio cuando el termómetro se encuentra en hielo fundente; el 100, al nivel cuando se encuentra en agua hirviendo (escala Celsius o centígrada).

Para grabar una escala se empieza por determinar los puntos fijos. Para ello se coloca el termómetro en hielo fundente y en el nivel alcanzado por el mercurio se hace una señal. Luego se introduce en agua hirviendo y cuando el mercurio haya alcanzado el nivel máximo en aquel estado se hace una nueva señal. Estas dos señales marcadas o puntos fijos corresponden a dos temperaturas, la de fusión del hielo y la de ebullición del agua, que se toman siempre como temperaturas de referencia.

Luego se procede a grabar la escala deseada. *Cuando a la señal hecha a la temperatura de fusión del hielo se le asigna el valor de cero grados y a la que se hace a la temperatura de ebullición del agua el valor de cien grados y el espacio comprendido entre ambas divisiones se divide en cien partes iguales, se obtiene una escala que recibe el nombre de escala centígrada o de Celsius.* Cada una de las divisiones obtenidas se llama grado centígrado y la escala se prolonga por encima de cien grados y por debajo de cero grados marcando otras divisiones, siempre a igual distancia unas de otras, continuando la numeración por arriba con los números 101, 102, 103, etc., y por debajo —1, —2, —3, etc., llamándose a estas temperaturas negativas o bajo cero.



Aquí puede apreciarse la correspondencia entre las temperaturas de los termómetros Réaumur, centígrado y Farenheit.

Si a la señal hecha a la temperatura de fusión del hielo se le señala con cero grados y a la de ebullición del agua con 80 grados y se divide el intervalo entre ellas en 80 partes iguales, continuando si se quiere la escala por arriba y por abajo en igual forma que antes, se obtiene una escala que recibe el nombre de escala Réaumur.

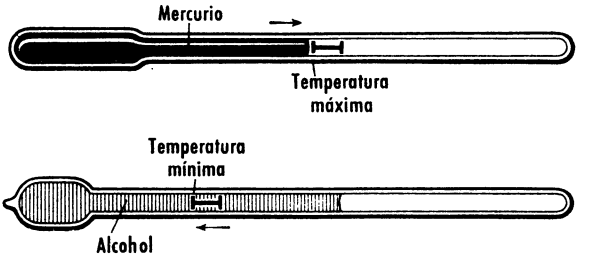
Finalmente, si aquellas dos señales hechas se señalan, respectivamente, con los valores 32 y 212 y se divide el intervalo entre ellas en 180 partes iguales, continuando luego la escala en la forma ya dicha, se obtiene la tercera escala, que recibe el nombre de escala Fahrenheit.

De lo que antecede se deduce que un termómetro es centígrado o que su escala es centígrada cuando marca 0° a la temperatura del hielo fundente y 100° a la del agua en ebullición. Es Réaumur cuando marca 0° a la temperatura del hielo y 80° a la ebullición del agua. Es Fahrenheit cuando marca 32° a la temperatura de fusión del hielo y 212° a la de ebullición del agua.

Termómetros especiales. — Para determinados usos son necesarios termómetros especiales.

Cuando se han de efectuar mediciones muy precisas, deben usarse termómetros muy sensibles; es decir, capaces de apreciar décimas y hasta centésimas de grado. Éstos se construyen de forma que el depósito contenga una masa de mercurio relativamente grande y su capilar sea lo más delgado posible. De esta manera las divisiones de cada grado quedan suficientemente separadas para que puedan realizarse divisiones intermedias.

El *termómetro de máxima* sirve para determinar cuál ha sido la mayor temperatura alcanzada en un lugar durante cierto tiempo. Se diferencia de un termómetro ordinario en que tiene un índice de hierro dentro del capilar, que es empujado por el mercurio al dilatarse, quedando en la mayor altura cuando el mercurio retrocede.



Los termómetros de máxima y de mínima se colocan horizontalmente.

El *termómetro de mínima* permite determinar la temperatura más baja de un lugar durante cierto tiempo. Se construye con alcohol en vez de mercurio y lleva un índice sumergido en el líquido dentro del capilar. Cuando la temperatura disminuye, el alcohol se contrae y la película formada en su superficie libre arrastra el índice haciéndole retroceder; pero cuando la temperatura se eleva el alcohol se dilata y rebasa el índice, dejándolo atrás. De este modo el índice queda marcando la temperatura más baja que alcanzó el termómetro.

Los termómetros de máxima y de mínima se colocan horizontalmente.

El *termómetro clínico* es un termómetro de máxima que abarca desde los 35° hasta los 42°. Su escala está dividida en décimas de grado. El tubo capilar de este termómetro tiene en su parte más próxima al depósito una estrangulación, por donde el mercurio pasa con dificultad. Cuando la temperatura sube y el mercurio se dilata salva el estrechamiento, pero cuando se contrae se rompe por allí la columna termométrica, que sigue señalando la mayor temperatura alcanzada. Para volverlo a usar es preciso hacer pasar de nuevo el mercurio al depósito, lo que se consigue dando al termómetro unas ligeras sacudidas.

Cantidad de calor y caloría. — Todos sabemos que la cantidad de calor que proporciona la combustión de una cerilla es la mitad de la que proporciona la combustión de dos, y que la cantidad de calor que necesitan dos litros de agua para calentarse desde diez grados a veinte es doble que la que necesita un solo litro de agua para elevar su temperatura entre iguales límites. Esto prueba que el calor es una magnitud que puede medirse.

Si tenemos una masa de agua de un gramo a la temperatura de 15° y la queremos calentar hasta 16°, tendremos que comunicarle una cierta cantidad de calor, siempre la misma. Esta cantidad de calor es precisamente la que se toma como unidad y recibe el nombre de caloría gramo.

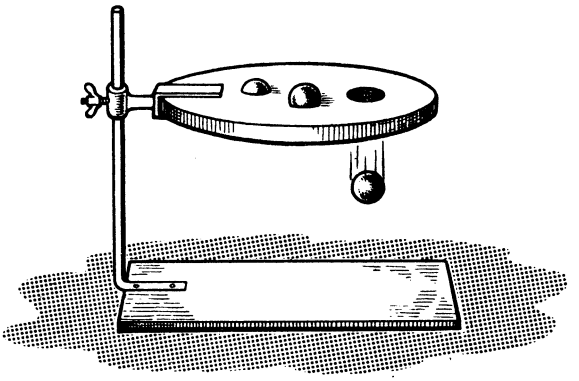
La caloría gramo es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua de 15 a 16 grados centígrados.

También se usa *la caloría grande o kilocaloría, que equivale a 1000 caloría gramo,* la cual se define como la cantidad de calor que se necesita para elevar la temperatura de un kilo de agua de 15 a 16 grados centígrados.

Se indican las temperaturas de 15 a 16 grados porque, aunque hay poca diferencia, no se necesita la misma cantidad de calor para elevar la temperatura de una masa de agua de 15 a 16 grados que de 90 a 91, por ejemplo.

Calor específico. Capacidad calorífica. — Tomemos varias esferitas de diferentes sustancias, pero todas de igual peso, y calentémoslas todas también a la misma temperatura, colocándolas luego sobre un disco o torta de cera de unos dos centímetros de espesor. Se observa que las esferitas van fundiendo cera y penetrando en ella hasta enfriarse completamente. Pero mientras unas logran atravesar la torta de cera otras no lo consiguen, quedando más o menos clavadas. Esto se debe a que al enfriarse las esferitas desde la temperatura a que se encontraban hasta la temperatura ambiente, han cedido diferente cantidad de calor, siendo éste suficiente en algunos casos para fundir la cera en todo su espesor y en otros no.

Evidentemente, tampoco necesitarían la misma cantidad de calor las



Al colocar sobre una torta de parafina varias esferas metálicas de distintos materiales de igual peso y a igual temperatura, se hunden más o menos según la cantidad de calor que ceden al enfriarse, es decir, según su capacidad calorífica.

esferitas del ejemplo anterior para elevar su temperatura entre iguales límites, aunque tengan igual peso.

En general, la cantidad de calor que necesita un gramo de una sustancia para elevar un grado su temperatura es diferente de unos cuerpos a otros.

Recibe el nombre de calor específico de un cuerpo la cantidad de calor que necesita un gramo del mismo para elevar su temperatura un grado centígrado.

El calor específico se representa por la letra c.

Recordando la definición que dimos de caloría, diremos que *el calor específico del agua es la unidad,* puesto que un gramo de agua necesita una caloría para elevar su temperatura un grado.

Ahora bien, si un gramo de un cuerpo necesita una cantidad de calor c para elevar su temperatura un grado, dos gramos del mismo cuerpo necesitarán dos veces c para elevar su temperatura un grado también, y en general, si el cuerpo pesa *m* gramos, necesitará *m* veces c calorías. La cantidad de calor que necesita un cuerpo para elevar un grado su temperatura recibe el nombre de capacidad calorífica del cuerpo.

La capacidad calorífica de un cuerpo se halla multiplicando su masa m *por su calor específico* c.

Por último, si se trata de elevar la temperatura de un cuerpo cuya masa es *m* y su calor específico es *c*, no un grado, sino *t* grados la cantidad de calor necesaria será *t* veces mayor que para uno solo, y, por tanto, valdrá:

$$q = m \cdot c \cdot t$$

La cantidad de calor necesaria para elevar *t* grados la temperatura de un cuerpo cuyo peso es *m* gramos y cuyo calor específico es *c*, se halla multiplicando su peso por su calor específico y por el número de grados que se eleva su temperatura.

Calorimetría. — La calorimetría tiene por objeto el estudio de los métodos de medición del calor.

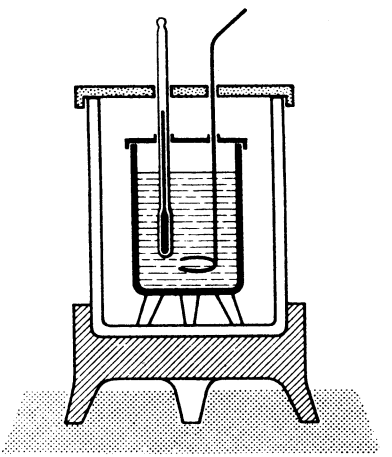
Los métodos calorimétricos se basan en dos postulados, que resultan evidentes:

1.° *Cuando dos cuerpos a diferente temperatura y aislados de todos los demás se ponen en contacto hasta igualar sus temperaturas, la cantidad de calor cedida por un cuerpo es igual a la cantidad de calor absorbida por el otro.*

2.° *Cuando un cuerpo se enfría de una temperatura* t *a otra* t', *pierde la misma cantidad de calor que absorbe cuando se calienta desde la temperatura* t' *a la* t.

Calorímetros. — *Los calorímetros son aparatos destinados a determinar cantidades de calor.*

El calorímetro más usado es el llamado *calorímetro de agua,* que está constituido por un vaso, de cobre o latón niquelado bien pulido para evitar las pérdidas de calor por radiación. Este vaso está situado dentro de otro de mayor capacidad, apoyado sobre tres pies de corcho, para reducir al mínimo las pérdidas de calor por conducción. Dentro del primer vaso, se coloca una cantidad pesada de agua y su temperatura se mide mediante un termómetro sensible, mientras se agita el líquido para que aquélla sea la misma en todos los puntos.



Calorímetro de agua. Este aparato se emplea para determinar el calor específico de los cuerpos.

En este calorímetro puede determinarse el calor comunicado al agua por un cuerpo caliente dejado caer dentro de ella, conociendo la cantidad de agua contenida, y su temperatura tanto inicial como final, es decir, antes y después de añadir el cuerpo caliente.

Para ello no hay más que tener presente que cada gramo de agua absorbe una caloría, por cada grado que aumenta de temperatura. Es decir: si hay M gramos de agua, son necesarias M calorías por grado, y si ésta pasa de la temperatura t a la temperatura t' la cantidad de calor Q que habrá absorbido será:

$$Q = M \cdot (t' - t)$$

Determinación de calores específicos. — Para determinar el calor específico de un cuerpo se pueden usar varios métodos, pero el más empleado es el conocido por *método de las mezclas*, para lo que se emplea el calorímetro descrito anteriormente y se procede del modo siguiente:

Se comienza por pesar el cuerpo cuyo calor específico se quiere determinar. Se coloca en una estufa donde se calienta hasta una temperatura que se mide mediante un termómetro sensible. Después se sumerge rápidamente en el interior del agua del calorímetro, cuyo peso y temperatura han sido determinados con exactitud. Se agita el agua y se observa su temperatura, que va subiendo, gracias al calor que cede el cuerpo, hasta quedar ambos a una misma temperatura.

Supongamos que sea m la masa del cuerpo, cuyo calor específico vamos a determinar, y t' la temperatura que tenía en el momento de introducirlo en el interior del calorímetro, siendo c su calor específico que desconocemos. Sea M la masa del agua del calorímetro y t su temperatura inicial, y sea por último t'' la temperatura final a que quedan el agua y el cuerpo. El calor que ha absorbido el agua para pasar desde su temperatura inicial t a la temperatura final t'' es como sabemos:

$$Q = M \cdot (t'' - t),$$

y el calor cedido por el cuerpo sumergido en el agua:

$$Q' = m \cdot c(t' - t'')$$

Pero como ambas cantidades de calor son iguales según el postulado enunciado anteriormente se puede escribir:

$$m \cdot c(t' - t'') = M(t'' - t),$$

de donde resulta que el calor específico buscado es:

$$c = \frac{M(t'' - t)}{m(t' - t'')}$$

Cuando se trata de determinaciones de mucha precisión, debe tenerse en cuenta que realmente el calor cedido por el cuerpo no se emplea sólo en calentar el agua del calorímetro, sino también el vaso mismo, así como el

agitador y el termómetro. El calor que absorben estos cuerpos puede determinarse conociendo sus calores específicos y sus pesos, o cuando esto no es posible, mediante una operación previa, cuyo resultado se tiene en cuenta.

Manantiales de calor. Potencia calorífica de los combustibles. — El manantial más importante de calor es el Sol. El Sol lanza continuamente al espacio enormes cantidades de calor, del cual una pequeña parte recoge la Tierra. Esta parte, aun siendo pequeñísima comparada con la totalidad emitida por el Sol, es suficiente para mantener y hacer posible la vida sobre la Tierra, manteniendo además su temperatura. Si llegase a enfriarse el Sol, la Tierra se enfriaría progresivamente y desaparecería en ella todo rastro de vida.

Además de esta fuente natural de calor, el hombre dispone de otras entre las cuales la más común es la combustión. La combustión del carbón, madera, gasolina y otros cuerpos proporciona calor que se emplea para numerosos fines.

Un kilogramo de un combustible determinado proporciona durante su combustión cierta cantidad de calor, que depende del combustible de que se trata.

Se llama potencia calorífica de un combustible la cantidad de calor, medido en calorías, que proporciona un kilogramo del mismo durante su combustión completa.

Tabla de calores de combustión

	Kilo-calorías por kg de combustible
Antracita	8 000
Hulla magra	8 000
Carbón de madera	7 500
Lignito	6 400
Leña seca	3 700
Petróleo bruto	11 500
Alcohol	7 200
Gas del alumbrado	10 600

Tabla de calores específicos

Agua	1,—
Hierro	0,11
Plata	0,055
Estaño	0,05
Plomo	0,031
Diamante	0,12
Silicio	0,17

Ejercicios

Dígase qué se entiende por calor y qué por temperatura y señálese la diferencia entre calor y temperatura.

¿Qué es un termómetro? ¿En qué se fundan los termómetros de mercurio?

¿Cómo se gradúa un termómetro con la escala centígrada?

¿Cómo se define la caloría? ¿Qué es calor específico de un cuerpo? ¿Qué significa que el calor específico del cobre es 0,093?

¿Cuáles son los postulados en que se fundan las determinaciones calorimétricas?

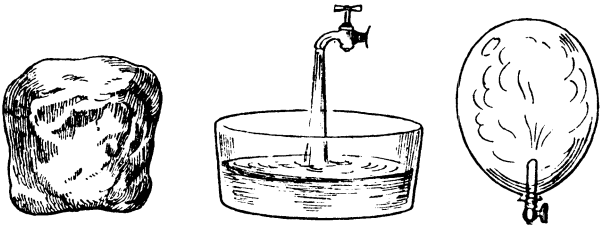
Problemas

1. ¿Qué temperatura marcará un termómetro Réaumur donde un termómetro centígrado marque 75°? (Resp.: 60 grados.)
2. ¿Cuál será la capacidad calorífica de una masa de cobre de 100 g? (Calor específico del cobre $c = 0{,}093$.) (Resp.: 9,3 calorías.)
3. ¿Qué cantidad de calor necesitará una masa de cobre ($c = 0{,}093$) de 50 g para elevar su temperatura desde 10° a 100°? (Resp.: 418,5 cal/g.)
4. ¿Qué cantidad de calor cederá una masa de agua de 100 g al enfriarse desde 90° a 18°? (Resp.: 7200 cal/g.)

13. CAMBIOS DE ESTADO DE AGREGACIÓN

Propiedades generales de los estados físicos de la materia. — Los cuerpos pueden encontrarse en uno de los tres estados físicos conocidos: sólido, líquido y gaseoso.

Cada uno de estos tres estados se caracteriza por determinadas propiedades que los distinguen de los demás. Estas propiedades se deben a la energía de las moléculas del cuerpo en cada estado, la cual es una conse-



La materia puede presentarse en tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

cuencia de la temperatura. Resulta, por tanto, que el estado físico de una materia depende de su temperatura, por lo que, en general, se puede pasar de uno a otro variando ésta.

Los sólidos tienen forma y volumen constante y presentan cierta resistencia a ser divididos en partes.

Ello es debido a que sus moléculas se atraen fuertemente mediante fuerzas llamadas de *cohesión* y están rígidamente unidas unas a otras, de modo que sólo pueden efectuar pequeños movimientos de vaivén alrededor de una posición media de equilibrio. Las moléculas de los cuerpos sólidos no tienen libertad de movimientos.

Los líquidos tienen volumen constante, pero no tienen forma propia, sino que adoptan la de la vasija que los contiene, salvo en la superficie libre que es plana y horizontal.

Ello es debido a que las moléculas de los líquidos tienen energía suficiente para equilibrar las fuerzas de cohesión que tienden a mantenerlas unidas y, aunque no pueden separarse, pueden resbalar fácilmente unas sobre otras. Las moléculas de los líquidos se mueven, pues, deslizándose unas sobre otras, lo que equivale a tener libertad de movimiento en dos direcciones.

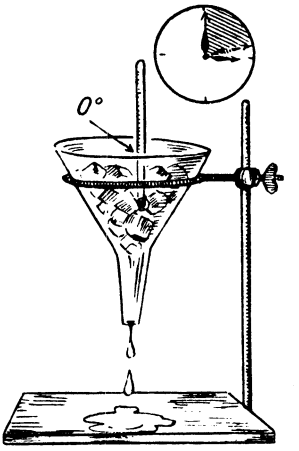
Los gases no tienen forma ni volumen propios, adoptando la forma de la vasija que los contiene y ocupando todo su volumen. Estas propiedades son debidas a que las moléculas de los gases tienen una energía que no sólo equilibra las fuerzas de cohesión, sino que hace que tiendan a separarse, porque chocando violentamente entre sí y contra las paredes del recipiente que los contiene, rebotan y se rechazan constantemente. La propiedad que distingue los líquidos de los gases de ocupar todo el volumen de la vasija que los contiene, recibe el nombre de *expansibilidad*. Las moléculas de los gases tienen libertad de movimiento en las tres direcciones.

Fusión y solidificación. — *Se llama fusión el paso de un cuerpo del estado sólido al líquido. Se llama solidificación el paso de un cuerpo del estado líquido al sólido.*

Tomemos trocitos de hielo de una nevera y pongámoslos dentro de un vaso, con un termómetro, que marcará una temperatura inferior a los cero grados. Si dejamos el vaso en un ambiente tibio, irá tomando calor y se observa que el termómetro indica temperaturas crecientes: el hielo va calentándose. Si cuando el termómetro marca cero grados colocamos el vaso en un recinto a esa misma temperatura, para que no tome ni ceda calor, el agua permanece en estado sólido, pero si le seguimos dando calor, el hielo se funde, mientras la temperatura del termómetro permanece estacionaria a cero grados durante todo el tiempo que dura la fusión. Cuando toda el agua está líquida, la temperatura sigue subiendo.

Tomemos ahora un vaso con una pequeña cantidad de agua y coloqué-

Los sólidos funden a una temperatura fija (punto de fusión) y mientras dura ésta, la temperatura permanece constante.



mosle casi sumergido en una mezcla frigorífica formada por hielo machacado y sal. Poniendo dentro del agua un termómetro, y teniendo cuidado de removerla frecuentemente, se observa que la temperatura va bajando lentamente, hasta alcanzar cero grados. Si entonces sacamos el vaso de la mezcla frigorífica y lo colocamos en un recinto a la misma temperatura de cero grados, el agua permanece líquida. En caso contrario la mezcla frigorífica continúa quitando calor al agua y se observa la formación de cristalitos de hielo, mientras la temperatura señalada por el termómetro permanece estacionaria a cero grados. Cuando toda el agua ha solidificado, la temperatura continúa bajando de nuevo.

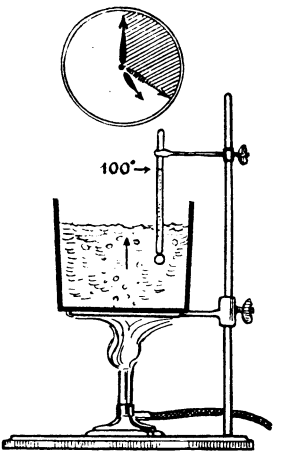
Lo mismo que se ha hecho con el agua, podría hacerse con otros cuerpos. Estas experiencias demuestran que la fusión y la solidificación tienen lugar con arreglo a ciertas leyes que se llaman:

Leyes de la fusión y de la solidificación:

1.ª *Cada cuerpo tiene una temperatura fija y determinada, llamada punto de fusión o punto de solidificación, a la cual pasa de sólido a líquido, si se le da calor, y de líquido a sólido si se le quita calor.*

2.ª *Mientras dura la fusión o la solidificación, la temperatura permanece invariable.*

Calor de fusión. — Para que un sólido funda no es suficiente que se alcance su temperatura de fusión. El hielo puede permanecer a cero grados sin fundir. Para que el sólido funda es necesario que una vez alcanzado su punto de fusión se le siga dando calor. A pesar de ello mientras dura la fusión la temperatura no varía y solamente cuando todo el cuerpo ha fundido el líquido formado sigue elevando su temperatura.



Los líquidos hierven a una temperatura fija (punto de ebullición) y mientras dura la ebullición, la temperatura no varía.

Se llama calor de fusión a la cantidad de calor que es necesario comunicar a una unidad de masa de un cuerpo, cuando está a su temperatura de fusión para que pase del estado sólido al líquido.

Se toma como unidad de masa el gramo masa y como unidad de calor la caloría pequeña.

Un gramo de hielo a cero grados necesita 80 calorías para convertirse en un gramo de agua líquida también a cero grados. Por tanto, el calor de fusión del hielo es igual a 80 calorías.

Explicación cinética de la fusión y la solidificación. — Según sabemos, las moléculas de los sólidos se encuentran unidas por fuerzas de cohesión que sólo les permiten oscilar alrededor de sus posiciones medias de equilibrio. Al elevar la temperatura del sólido, aumenta la energía de sus moléculas, que se agitan cada vez con mayor violencia, chocando y rebotando unas con otras. Así se llega a una temperatura en la cual la energía de las moléculas es suficiente para equilibrar las fuerzas de cohesión y entonces el sólido funde.

Cuando un líquido se enfría, la energía de sus moléculas va disminuyendo y así llega una temperatura en que las fuerzas de cohesión son capaces de retener las moléculas unas alrededor de otras, fijándolas entre sí y entonces el líquido solidifica.

La temperatura de fusión de un cuerpo y la temperatura de solidificación del mismo es aquella en la que la energía de sus moléculas es suficiente para equilibrar las fuerzas de cohesión que las liga.

El calor que se le está dando al sólido mientras dura la fusión, no se emplea en aumentar la energía de sus moléculas, es decir, en aumentar su temperatura, sino solamente en destruir el edificio molecular del sólido.

Cuando vuelva a solidificar el líquido desprende el calor que se le dio durante la fusión. Ese calor es precisamente el calor de fusión.

Fusión franca y fusión pastosa. — Algunos cuerpos no presentan una temperatura fija de fusión. Tal sucede con la parafina y el vidrio entre otros. Estos cuerpos se reblandecen antes de fundir, y si observamos su fusión, no habrá un momento en que la temperatura permanezca estacionaria ni que podamos afirmar con seguridad que empieza o termina la fusión.

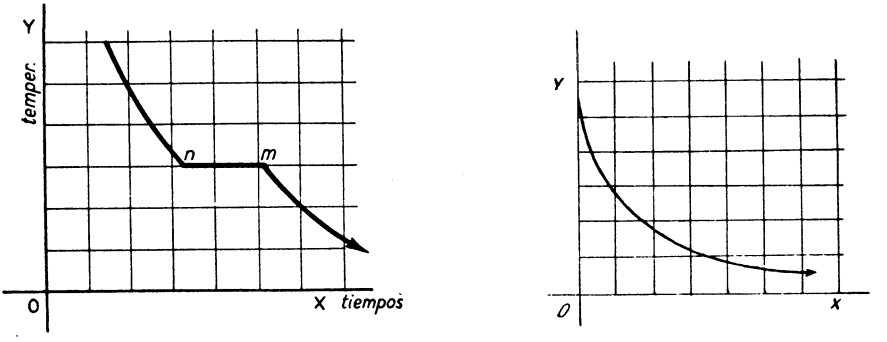
Se llama fusión franca o cristalina la que tiene lugar a temperatura fija y sin que el cuerpo se reblandezca previamente. Es propia de los cuerpos cristalinos y cristalizados.

Se llama fusión pastosa la que no tiene lugar a una temperatura definida, reblandeciendo el cuerpo antes de fundir. Es propia de los cuerpos amorfos o no cristalizados

Estos cuerpos se consideran como líquidos muy viscosos (espesos), por cuya razón tienen apariencia de sólidos, aunque no lo son en realidad.

Representación gráfica de la fusión y la solidificación. — Para representar gráficamente el paso de un cuerpo del estado líquido al sólido, tomemos un cuerpo fundido, por ejemplo, azufre. Coloquemos dentro de él un termómetro y dejémosle enfriar, anotando, a partir de un momento determinado, los minutos transcurridos y las temperaturas correspondientes.

Llevando estos valores a un sistema de ejes coordenados, obtendremos una gráfica que presenta tres partes. La primera es descendente, porque el líquido se va enfriando y la temperatura baja a medida que pasa el tiempo. Una segunda recta, paralela al eje de los tiempos, indica que la temperatura no ha variado en algún tiempo, durante el cual el líquido solidifica. Esta zona horizontal señala la temperatura de solidificación del cuerpo. La tercera parte de la gráfica es también descendente y muestra que el sólido sigue enfriándose a medida que pasa el tiempo.



La gráfica de la solidificación de los cuerpos cristalinos o cristalizados presenta una parte recta situada a la temperatura de solidificación. La de los cuerpos no cristalizados es una curva continua.

Si representamos el paso de sólido a líquido del mismo cuerpo, dándole calor hasta su fusión total y anotando los tiempos y las temperaturas, obtendremos también una gráfica de tres partes: dos ascendentes y una intermedia recta, situada a la misma temperatura que la de la gráfica anterior.

En la representación gráfica de la fusión o de la solidificación del vidrio o de la parafina, se observa que la temperatura no se mantiene estacionaria en ningún momento y la gráfica que se obtiene es una línea continua porque estos cuerpos no poseen una temperatura fija de fusión.

Sublimación. — Tomemos unos cristalitos de yodo y pongámoslos en una cápsula que colocaremos sobre una pequeña llama de un mechero de alcohol. Se observa que al calentarse empiezan a desprenderse unos vapores densos de color violeta, llegando a desaparecer todo el yodo, sin pasar por el estado líquido.

Se llama sublimación al paso de un sólido directamente al estado de vapor. La sublimación tiene lugar con absorción de calor.

Si los vapores de yodo se recogen sobre una superficie fría, se condensan nuevamente, formando cristales de yodo sólido.

Explicación cinética de la sublimación. Presión de vapor de un sólido. — Según ya sabemos, las moléculas de los cuerpos poseen una energía que aumenta con la temperatura. En los sólidos esta energía no es suficiente para vencer las fuerzas de cohesión que las retiene unas junto a otras, pero puede darse el caso de que algunas tengan en un momento dado una energía mucho mayor que el término medio, y entonces se desprenden pasando al estado de vapor. En esto consiste la sublimación, que lógicamente se favorece al elevar la temperatura del sólido.

Cuando la sublimación tiene lugar en un recinto cerrado donde previamente se había hecho el vacío, se va acumulando vapor hasta que llega un momento en que cesa la sublimación en apariencia: el sólido no disminuye y la cantidad de vapor contenida en el recinto no aumenta. A este equilibrio se llega cuando el número de moléculas que se desprenden del sólido en cada unidad de tiempo es igual al de moléculas del vapor, que al chocar en sus movimientos desordenados contra el sólido, son retenidas por éste.

El vapor contenido en el recinto tiene una presión, que puede medirse con un manómetro, que se llama *presión de vapor del sólido* a la temperatura del equilibrio.

Evidentemente, si aumentamos la temperatura del sólido, la energía de sus moléculas aumenta y el número de ellas que se desprende por unidad de tiempo crece, rompiéndose el equilibrio, que se restablece después, cuando aumenta suficientemente la cantidad de vapor acumulada en el recinto, y por tanto su presión.

La presión de vapor de un sólido aumenta con la temperatura.

Los cuerpos que a baja temperatura tienen ya una elevada presión de vapor, son los que subliman fácilmente, como sucede con el yodo, la naftalina y otros.

Vaporización. — *La vaporización es el paso de un cuerpo del estado líquido al estado gaseoso o de vapor.* Cuando tiene lugar solamente a través de la superficie libre del líquido recibe el nombre de evaporación. Cuando tiene lugar por todos los puntos de la masa líquida recibe el nombre de ebullición.

Evaporación. — Cuando se vierte un poco de agua en el suelo, se observa que al cabo de algún tiempo desaparece. Lo mismo sucede cuando nos humedecemos las manos con unas gotas de alcohol. En pocos momentos quedan secas mientras que las notamos frías. En ambos casos el líquido se ha convertido en vapor y se ha difundido en la atmósfera absorbiendo calor de las manos o del suelo (por eso se riegan las calles en verano).

La evaporación es el paso de un líquido a vapor a través de su superficie libre. Esta transformación tiene lugar con absorción de calor.

Se llaman cuerpos volátiles los que, como el alcohol y el éter, se evaporan fácilmente. Se llaman cuerpos no volátiles los que, como el aceite y el mercurio, se evaporan con dificultad.

La rapidez con que un cuerpo se evapora depende de las circunstancias en que tiene lugar. La evaporación de un líquido se favorece aumentando la superficie libre del mismo, elevando su temperatura y renovando el aire sobre el líquido que se evapora.

Ebullición. — Pongamos agua en un vaso y coloquémoslo sobre la llama de un mechero Bunsen, poniendo un termómetro dentro de ella. Cuando la temperatura se eleva, comienzan a aparecer burbujas gaseosas que se desprenden silenciosamente y rompen en la superficie. Es el aire que estaba disuelto y que se desprende por ser menos soluble en el agua caliente que en el agua fría. Luego, cuando la temperatura va aproximándose a los 100°, se observa la formación de burbujas en el fondo de la vasija, que se desprenden y ascienden hacia la superficie, pero que desaparecen antes de llegar a ella, al mismo tiempo que se oye un ruido llamado *canto del líquido*. Poco después, cuando la temperatura de todo el líquido es de 100° las burbujas formadas consiguen llegar a la superficie y allí rompen, pasando a la atmósfera el vapor que encierran. Se dice que el líquido hierve. Mientras dura la ebullición se observa que la temperatura permanece constante y que si se deja de dar calor al líquido, cesa la ebullición.

La ebullición es el paso de un líquido al estado de vapor cuando tiene lugar por todos los puntos de su masa. La ebullición tiene lugar con absorción de calor.

Según se deduce de la experiencia descrita, la ebullición tiene lugar con arreglo a las siguientes:

Leyes de la ebullición:

1. *Cada líquido hierve a una temperatura fija y determinada llamada punto de ebullición.*

2. *Mientras dura la ebullición la temperatura permanece constante.*

Licuación. — Cuando se pone agua muy fría en un vaso, éste se empaña exteriormente, cubriéndose de pequeñísimas gotas de agua. Esto es debido a que el vapor de agua que hay en la atmósfera que rodea el vaso se enfría sobre la superficie del cristal y pasa al estado líquido.

El mismo fenómeno tiene lugar en las noches frías, especialmente después de días calurosos: el vapor de agua de la atmósfera se condensa en pequeñas gotas sobre la superficie de las plantas y otros objetos constituyendo el rocío.

Se llama licuación al paso de un cuerpo del estado gaseoso al líquido. La licuación tiene lugar con desprendimiento de calor, es decir, por enfriamiento.

Sin embargo, no todos los gases pueden pasar al estado líquido por sólo enfriamiento. Hay muchos que al mismo tiempo que se enfrían deben someterse a presión (presión crítica), sin lo cual no se liquidan por mucho que se enfríen.

Calor de vaporización. — Según hemos dicho, mientras dura la ebullillición la temperatura permanece constante, a pesar de que durante ella el líquido recibe calor. Ese calor no se emplea, pues, en aumentar su temperatura, sino en transformar el líquido en vapor a igual temperatura. Por ejemplo, el agua a 100° se convierte en vapor de agua a 100° también.

Se llama calor de vaporización al calor que hay que dar a un gramo de un líquido, cuando está a su temperatura de ebullición, para que se convierta en un gramo de vapor a igual temperatura.

Un gramo de agua a 100° necesita 537 calorías para convertirse en un gramo de vapor de agua. El calor de vaporización del agua es igual a 537 calorías.

Explicación cinética de la evaporación y de la ebullición. Presión de vapor de un líquido. — Las moléculas de los líquidos a temperatura ordinaria tienen energía suficiente (por término medio) para equilibrar la cohesión, pero no para desasirse unas de otras y pasar a vapor. Sin embargo, a cualquier temperatura se encuentran algunas que tienen una energía mucho mayor que el término medio, y éstas son las que se desprenden pasando a vapor al atravesar la superficie libre del líquido. En esto consiste la evaporación.

Dado que la evaporación tiene lugar a través de la superficie libre del líquido y puesto que la energía de las moléculas aumenta con la temperatura, *la evaporación se favorece aumentando la superficie libre y elevando la temperatura del líquido.*

Cuando la evaporación de un líquido tiene lugar en un recinto cerrado, ocurre como explicábamos en el caso de la sublimación, que llega a establecerse un equilibrio entre el líquido y su vapor, cuando en cada unidad de tiempo, el número de moléculas que pasan del líquido al vapor es igual al de moléculas que pasan del vapor al líquido.

La presión que tiene entonces el vapor, medible con un manómetro, se llama *presión de vapor del líquido* a la temperatura del equilibrio. Esta presión aumenta con la temperatura.

Si se eleva suficientemente la temperatura del líquido, la energía media de sus moléculas llega a tener un valor suficiente para, rebotando unas sobre otras, separarse, en cuyo momento se forman burbujas de vapor en cualquier punto de la masa líquida, a menos que exteriormente se ejerza sobre el líquido una presión superior a la presión del vapor contenido en las burbujas, en cuyo caso éstas serían aplastadas y desaparecerían.

Cuando un líquido se calienta en vasija abierta, sobre su superficie actúa la presión atmosférica, y por tanto no se podrán formar burbujas de vapor en su seno (ebullición) hasta que la presión del vapor del líquido sea igual a la presión atmosférica.

Cada líquido hierve a una temperatura a la cual su presión de vapor iguala a la presión atmosférica.

Por esta razón la temperatura de ebullición de un líquido depende del valor de la presión atmosférica y aumenta y disminuye con ésta.

Ejercicios

¿Cuáles son las propiedades generales de los tres estados físicos de la materia?

¿En qué consiste la fusión y cómo se explica cinéticamente? ¿En qué consiste la solidificación y cuál es su explicación cinética? ¿En qué consiste la ebullición y cuál es su explicación cinética?

¿Qué diferencia hay entre fusión franca y fusión pastosa? ¿De qué clase de cuerpos es propia una y otra?

¿En qué consiste la evaporación y qué causas la favorecen? ¿Por qué?

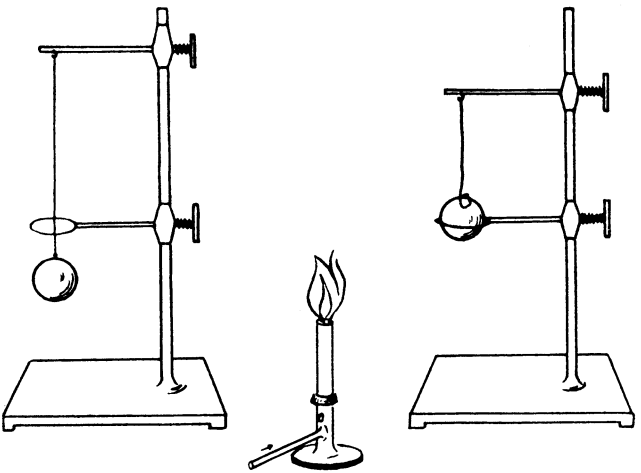
¿Qué es calor de fusión? ¿Qué es calor de vaporización?

Problema

Qué cantidad de calor es necesario para convertir 100 g de hielo a 0° en 100 g de vapor de agua a 100°? (Calor de fusión del hielo 80 cal/g. Calor de vaporización del agua 537 cal/g.) (Resp.: 71 700 cal/g.)

14. DILATACIÓN DE SÓLIDOS Y LÍQUIDOS

Dilatación de los sólidos. — Tomemos una esferita metálica que pase justamente a través de un anillo. Si la calentamos por medio de una llama observaremos que una vez caliente ya no cabe por el anillo por donde antes pasaba. Si la dejamos enfriar de nuevo, una vez fría podrá pasar otra vez por el anillo. Esto prueba que la esferita, al mismo tiempo que se calienta aumenta de volumen y que al enfriarse su volumen disminuye.



Cuando esta esferita metálica se calienta, no pasa por el anillo por donde antes pasaba justamente.

En general, todos los cuerpos aumentan de volumen cuando se calientan y disminuyen de volumen al enfriarse.

Se llama dilatación al aumento de volumen que experimentan los cuerpos por efecto del calor.

Naturalmente, cuando los cuerpos se dilatan aumentan en sus tres dimensiones, como se prueba en el experimento anterior, pero a veces sólo interesa considerar el aumento de longitud o el de superficie.

Recibe el nombre de dilatación lineal de un cuerpo el aumento de longitud que experimenta por efecto del calor.

Se llama dilatación superficial, al aumento de superficie que experimenta un cuerpo por efecto del calor.

Recibe el nombre de dilatación cúbica o de volumen, el aumento de volumen que experimenta un cuerpo por efecto del calor.

La dilatación de los sólidos tiene numerosas aplicaciones, como, por ejemplo, al colocar una llanta de hierro en la rueda de un carro. Para ello se empieza por construir la llanta de un diámetro ligeramente inferior al de la rueda de madera; luego se calienta, colocándola y dejándola enfriar después, con lo que, al contraerse, queda perfectamente ajustada.

Dilatación lineal de los sólidos. — Dilatación lineal de un sólido es el aumento de longitud que experimenta cuando se eleva su temperatura.

Coeficiente de dilatación lineal es el aumento de longitud que experimenta una varilla de una unidad de longitud de un sólido cuando se eleva su temperatura un grado.

Este coeficiente se representa por k_1.

Cuando una varilla de un metro de longitud aumenta su temperatura en un grado, su longitud se ve incrementada en el valor k_1, entonces su longitud será: $1 + k_1$ metros.

Si la longitud de la varilla no es la unidad, sino l_0 unidades al aumentar su temperatura un grado, cada unidad de longitud experimenta un aumento de longitud igual a k_1, el aumento total de la varilla será $l_0 k_1$, y la longitud total de la varilla será: $l_0 + l_0 \cdot k_1$.

Si el aumento de temperatura fuese de t grados, el aumento de la varilla sería ahora t veces mayor: $l_0 k_1 t$. Por tanto, la longitud final de la varilla, l_t sería igual a la longitud l_0 más el valor del aumento:

$$l_t = l_0 + l_0 k_1 t$$

y sacando l_0 factor común resulta:

$$l_t = l_0(1 + k_1 t)$$

La expresión $1 + k_1 t$ recibe el nombre de binomio de dilatación.

La longitud de un cuerpo a t grados es igual a la longitud del mismo a cero grados multiplicada por el binomio de dilatación.

Los coeficientes de dilatación de los sólidos son generalmente muy pequeños. He aquí algunos de ellos:

Vidrio	0,000008
Platino	0,000008
Cobre	0,000017
Aluminio	0,000023

El coeficiente de dilatación se puede hallar midiendo la longitud a cero grados y a t grados de una varilla del metal con que se quiere experimentar, y sustituyendo en la fórmula siguiente, que resulta de despejar k_1 en la anterior:

$$k_1 = \frac{l_t - l_0}{l_0 t}$$

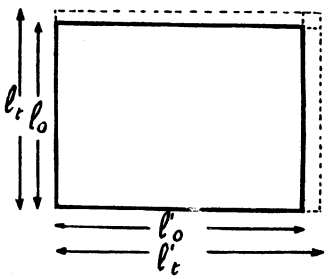
Dilatación superficial de los sólidos. — Dilatación superficial de un sólido es el aumento de superficie que experimenta un sólido al elevar su temperatura.

Coeficiente de dilatación superficial es el aumento que experimenta la unidad de superficie de un sólido al aumentar su temperatura un grado.

Se representa por k_2.

Si S_0 es la superficie del sólido a 0°, S_t la superficie a la temperatura final de $t°$ y k_2 el coeficiente de dilatación superficial, obtendremos una fórmula análoga a la obtenida para la dilatación lineal:

$$S_t = S_0(1 + k_2 t)$$



Al aumentar la temperatura de esta lámina metálica, aumentan sus dos dimensiones, largo y ancho.

La superficie de un sólido a t *grados es igual a la superficie del mismo a 0 grados por el binomio de dilatación, donde el coeficiente de dilatación es el de superficie del sólido.*

El coeficiente de dilatación superficial k_2 es, aproximadamente, doble del coeficiente de dilatación lineal del mismo cuerpo, o sea:

$$k_2 = 2k_1$$

Dilatación cúbica de los sólidos. — Dilatación cúbica de un sólido es el aumento de volumen que experimenta al elevar su temperatura.

Coeficiente de dilatación cúbica o de volumen es el aumento de volumen que experimenta la unidad de volumen de un cuerpo al elevar su temperatura un grado.

Se representa por k_3.

Siendo V_0 y V_t los volúmenes a 0 y t grados, respectivamente, tendremos:

$$V_t = V_0(1 + k_3 t)$$

El volumen de un sólido a la temperatura de t *grados es igual al volumen del mismo a 0 grados multiplicado por el binomio de dilatación, donde el coeficiente de dilatación es el de volumen del sólido.*

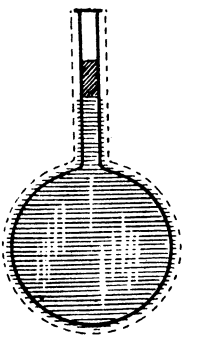
El coeficiente de dilatación de volumen de un cuerpo es, aproximadamente, igual al triplo del coeficiente de dilatación lineal del mismo:

$$k_3 = 3k_1$$

Dilatación de los líquidos. Dilatación real y aparente. — Los líquidos también se dilatan bajo la acción del calor. En ellos sólo se puede considerar el aumento de volumen y, por tanto, sólo se estudia la dilatación cúbica.

Coeficiente de dilatación de un líquido es el aumento que experimenta su unidad de volumen cuando su temperatura se eleva un grado.

Los líquidos tienen que estar contenidos en una vasija, por lo que, al mismo tiempo que aumenta su volumen, aumentan el volumen y la capacidad de la vasija, lo cual debe ser tenido en cuenta.



La dilatación real de un líquido no es sólo lo que aparenta por su elevación en el cuello de la vasija, sino mayor debido al aumento de volumen que experimenta ésta.

Tomemos un matraz que contenga un líquido hasta un nivel determinado que se señala en su cuello. Al calentarlo, el líquido aumenta de volumen y se eleva el nivel. Aparentemente, el aumento de volumen del líquido puede determinarse conociendo la sección del cuello del matraz y la diferencia de alturas del líquido dentro de él, antes y después de calentarlo. Pero ésta no es más que la dilatación aparente del líquido, porque hay que tener en cuenta la dilatación del matraz.

La dilatación real del líquido es igual a la dilatación aparente del mismo más la dilatación de la vasija que lo contiene.

El valor del coeficiente de dilatación real de un líquido es igual a la suma del coeficiente de dilatación aparente del líquido y el coeficiente de dilatación de la vasija.

Para medir la dilatación real de un líquido es necesario operar con una vasija, cuyo coeficiente de dilatación sea conocido.

Variación de la densidad con la temperatura. — Puesto que según sabemos, la densidad de un cuerpo viene dada por la fórmula

$$d = \frac{m}{v}$$

resulta que si se modifica la temperatura, y con ella el volumen de un cuerpo, quedará modificada también su densidad.

Si un cuerpo de masa m tiene a 0° un volumen v_0, a esa temperatura su densidad será:

$$d_0 = \frac{m}{v_0}$$

Cuando su temperatura se eleva a t°, su volumen será $v_t = v_0(1 + k_3 t)$ y entonces su densidad vendrá dada por

$$d_t = \frac{m}{v_0(1 + k_3 t)}$$

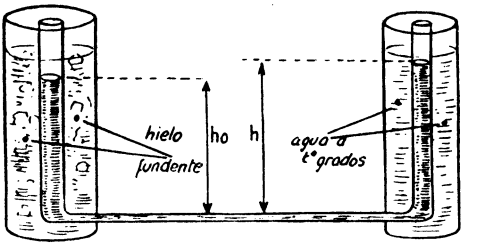
y como $\frac{m}{v_0} = d_0$, resulta que

$$d_t = \frac{d_0}{1 + k_3 t},$$

que nos dice que *la densidad de un cuerpo varía en razón inversa de su binomio de dilatación.*

En algunos cuerpos el coeficiente de dilatación es muy pequeño y su densidad es prácticamente constante a cualquier temperatura, pero en general *la densidad de un cuerpo disminuye a medida que aumenta su temperatura.*

Determinación del coeficiente de dilatación real del mercurio. — Según hemos dicho, la determinación del coeficiente de dilatación real de un líquido precisa conocer el coeficiente de dilatación de la vasija, cosa difícil a veces y que requiere a su vez el conocer el coeficiente de dilatación real de algún líquido. Dulong y Petit determinaron el coeficiente de dilatación real del mercurio por un medio que es independiente de la dilatación de la vasija, basado en la propiedad de los vasos comunicantes y en la modificación de la densidad del mercurio con la temperatura.



Determinación del coeficiente de dilatación real del mercurio, por Dulong y Petit: las alturas del mercurio en las dos ramas son diferentes por estar a distinta temperatura.

Para ello dispusieron dos vasos comunicantes unidos mediante un tubo horizontal muy estrecho, uno de los cuales estaba rodeado de hielo fundente y por tanto a 0° y el otro rodeado de agua caliente, cuya temperatura se mide mediante un termómetro sensible. En los vasos comunicantes se ponía mercurio, que al tener distinta temperatura en las dos ramas y por tanto distinta densidad, alcanzaba diferente altura en cada una de ellas. Las alturas son inversamente proporcionales a las densidades respectivas, es decir:

$$\frac{h_t}{h_0} = \frac{d_0}{d_t},$$

siendo d_0 y h_0 la densidad y la altura del mercurio en la rama fría y d_t y h_t los valores correspondientes a la rama caliente.

Pero recordando que

$$d_t = \frac{d_0}{1 + kt}$$

resulta finalmente:

$$\frac{h_t}{h_0} = 1 + kt,$$

de donde:

$$k = \frac{h_t - h_0}{h_0 t},$$

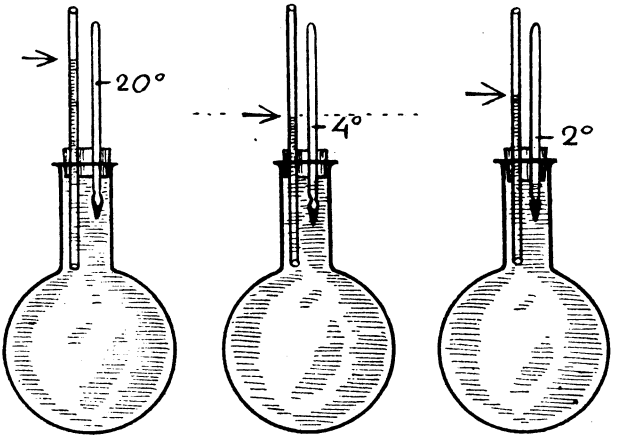
fórmula que permite averiguar el coeficiente de dilatación real del mercurio midiendo la diferencia de alturas en las dos ramas y la temperatura de la rama caliente.

El valor del coeficiente de dilatación real del mercurio es de

$$k = \frac{1}{555}$$

Dilatación irregular del agua. — El agua se dilata por efecto del calor, pero su dilatación no es regular.

Coloquemos en un matraz un tapón atravesado por un tubo estrecho y un termómetro, y llenemos el matraz de agua, de manera que ésta ocupe



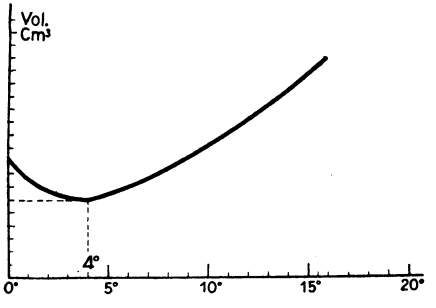
Al enfriar el agua en este matraz, su volumen disminuye hasta los 4° centígrados, y aumenta a partir de esta temperatura.

parte del tubo. Poniendo el matraz dentro de una mezcla frigorífica, por ejemplo hielo y sal, se observa que la temperatura del termómetro va disminuyendo, mientras que el nivel del agua dentro del tubo baja también, hasta la temperatura de 4°C. A partir de este momento, mientras el termómetro sigue bajando, el nivel del agua vuelve a subir dentro del tubo.

El agua presenta un volumen mínimo a cuatro grados centígrados y a partir de esta temperatura aumenta de volumen, tanto al enfriarse como al calentarse.

Por esta razón cuando se define la unidad de masa o la unidad de peso se dice que el agua debe tener una temperatura de 4°C, pues ésta es la temperatura a la que el agua tiene mayor densidad.

La variación del volumen del agua en función de la temperatura puede



La gráfica de la variación de volumen del agua en función de la temperatura, presenta un mínimo a 4°C.

representarse gráficamente. Para ello se llevan a un sistema de ejes coordenados los valores de las temperaturas y los volúmenes correspondientes de una masa de agua. La gráfica desciende desde 0° a 4° y asciende a partir de esa temperatura.

Ejercicios

Decir qué es dilatación de un sólido. ¿Cómo podría probarse la dilatación de un sólido?

Decir qué se entiende por coeficiente de dilatación lineal, superficial y cúbica de un sólido. ¿Qué relación hay entre los tres coeficientes?

¿Qué es dilatación real y aparente de un líquido? ¿Qué relación hay entre el coeficiente de dilatación real y aparente de un líquido?

¿Qué particularidad presenta la dilatación del agua? ¿A qué temperatura tiene el agua su mayor densidad y menor volumen?

Problemas

1. Una barra de hierro de 10 m de longitud tiene una temperatura de 18°. ¿Cuál será su longitud cuando se caliente a 40°? (Coeficiente de dilatación lineal del hierro $k = 0{,}000012$.) (Resp.: 10,00264 metros.)
2. La densidad de la glicerina a 0° es 1,265. ¿Cuál será su densidad a 100°? (Coeficiente de dilatación de la glicerina $k = 0{,}00050$.) (Resp.: $d_t = 1{,}20$.)

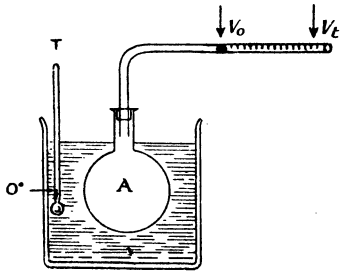
15. DILATACIÓN DE LOS GASES. ECUACIÓN GENERAL

Dilatación de los gases a presión constante. — Cuando se estudia la dilatación de sólidos y líquidos, se prescinde por completo de la presión a que están sometidos, debido a que las variaciones de presión no producen un cambio apreciable del volumen de los mismos. Pero en el caso de los gases, el volumen varía considerablemente al variar la presión a que están sometidos, como pone de manifiesto la ley de Boyle y Mariotte.

Por esta razón, en el estudio que vamos a hacer de la dilatación de los gases, empezaremos por estudiar la dilatación de los mismos sometidos a una presión constante.

Se llama coeficiente de dilatación de un gas a presión constante al aumento de volumen que experimenta al elevar un grado su temperatura.

Para estudiar la dilatación de los gases a presión constante se puede utilizar un matraz de vidrio de un litro de capacidad, prolongado por un tubo acodado en ángulo recto, cuya rama horizontal de sección constante está graduada y cuyas divisiones indican el volumen de la vasija hasta



Cuando el gas del matraz se calienta manteniendo constante su presión, aumenta de volumen.

cada una de ellas. Este tubo contiene una gota de mercurio, que deja encerrado en el matraz y en parte del tubo una masa de gas, cuyo volumen viene indicado por la gota de mercurio en el tubo graduado. El matraz se introduce en un baño de un líquido, en el que hay un termómetro que indica en cada momento su temperatura y la del gas del matraz.

Se empieza por colocar el baño a 0° y medir el volumen del gas a esa temperatura. Después se eleva la temperatura del baño a $t°$ y se mide nuevamente el volumen del gas.

Durante la experiencia, la presión a que está sometido el gas es constante, pues vale lo mismo que la presión atmosférica que actúa sobre la gotita de mercurio de fuera a dentro, y se comprueba que el volumen del gas a $t°$, V_t, puede expresarse por la fórmula

$$V_t = V_0(1 + \alpha t),$$

donde V_0 es el volumen del gas a 0° y α es el llamado coeficiente de dilatación del gas a presión constante.

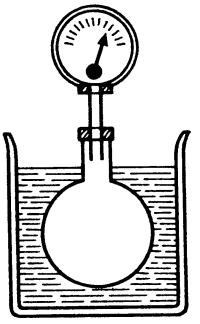
Se llama coeficiente de dilatación de un gas, a presión constante, al aumento de volumen que experimenta la unidad de volumen del mismo al elevar un grado su temperatura.

En un estudio no muy riguroso no es preciso tener en cuenta la dilatación de la vasija, ya que ésta es siempre muy pequeña en relación con la dilatación del gas.

Dilatación de los gases a volumen constante. — Si al calentar el gas operamos de forma que su volumen no pueda variar, sino que, por el contrario, permanezca constante, el efecto de la elevación de temperatura es un aumento de la fuerza elástica del gas, es decir, un aumento de su presión.

Se llama coeficiente de dilatación de un gas a volumen constante el aumento de presión que experimenta el mismo al elevar un grado su temperatura.

Cuando el gas del matraz se calienta sin permitir que varíe su volumen, aumenta su presión.



El estudio de la dilatación de un gas a volumen constante puede hacerse en el mismo aparato descrito anteriormente, sustituyendo el tubo acodado por un manómetro que indique en cada momento la presión del gas.

Conocidos los valores de las presiones del gas a 0° y a $t°$, se puede comprobar que la presión de un gas a $t°$ viene dada por la fórmula

$$P_t = P_0 (1 + \beta t),$$

donde β es el coeficiente de dilatación del gas a volumen constante.

También en este caso puede prescindirse, en un estudio no demasiado riguroso, de la dilatación de la vasija, por la misma razón que en caso anterior.

Leyes de Gay-Lussac. — Por procedimientos semejantes a los indicados anteriormente estudió Gay-Lussac las variaciones de presión o de volumen de los gases al variar la temperatura de los mismos. De las numerosas experiencias hechas con gases distintos, dedujo tres consecuencias que se conocen con el nombre de leyes de Gay-Lussac, las cuales pueden enunciarse del siguiente modo:

1.ª El coeficiente de dilatación α de los gases a presión constante es igual para todos ellos e independiente de la temperatura.

2.ª El coeficiente de dilatación β de los gases a volumen constante es igual para todos ellos e independiente de la temperatura.

3.ª Los coeficientes α y β no solamente son iguales para todos los gases sino que son iguales entre sí.

Estas leyes se han comprobado luego con todo rigor, y se ha visto que al igual de lo que sucede con la ley de Mariotte, no se cumplen exactamente. Se trata, por tanto, de leyes límite que cumplen los gases sólo de un modo aproximado, tanto mejor cuanto más apartados están de las con-

diciones en que se convertirían en líquidos.

El valor admitido hoy para el coeficiente de dilatación de los gases es:

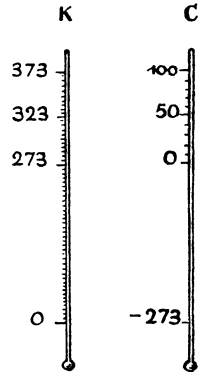
$$\alpha = \beta = \frac{1}{273{,}16}$$

aunque corrientemente se toma el valor redondeado 1/273.

Las fórmulas antes indicadas, que expresan el volumen y la presión de un gas a $t°$ en función del volumen o presión del mismo a 0° y del coeficiente de dilatación correspondiente, se conocen con el nombre de fórmulas de Gay-Lussac, pues son la expresión de las leyes que llevan su nombre.

Cero absoluto de temperaturas y temperaturas absolutas. — El cero de temperaturas en el termómetro centígrado no es, evidentemente, la temperatura más baja que puede existir. Esa temperatura, a la que se ha dado el valor cero, no es más que una temperatura arbitrariamente elegida para poder realizar la escala termométrica y, mediante ella, asignar un valor numérico a cada temperatura. A esa temperatura podía haberse dado otro valor cualquiera, y por debajo de ella existen temperaturas que en la escala centígrada se designan como temperaturas negativas o temperaturas bajo cero.

Sin embargo, las fórmulas de Gay-Lussac y el valor encontrado para los coeficientes de dilatación de los gases permiten calcular una temperatura, la más baja que cabe imaginar, la cual será realmente el cero absoluto de temperaturas.



Las temperaturas 0° y 100° del termómetro centígrado corresponden a las 273° y 373° absolutos.

Puesto que el volumen y la presión de un gas varían con la temperatura, aumentando y disminuyendo con ella, resulta que *la temperatura más baja que podemos imaginar es aquélla a que el volumen y la presión*

de un gas quedasen reducidas a cero. Esa temperatura, a la que llamaremos *cero absoluto de temperaturas,* corresponde a la temperatura de —273,16 grados del termómetro centígrado, o en números redondos —273.

En efecto a —273 grados el volumen y la presión de un gas vienen dados por la fórmula

$$V_{-273} = V_0\left(1 + \frac{-273}{273}\right) = V_0(1-1) = 0,$$

es decir, que *cualquiera que sea el volumen y la presión de un gas, se reducen a cero cuando su temperatura desciende hasta 273 grados centígrados bajo cero.*

La temperatura de 273 grados centígrados bajo cero recibe el nombre de cero absoluto de temperaturas. Las temperaturas contadas a partir del cero absoluto reciben el nombre de temperaturas absolutas.

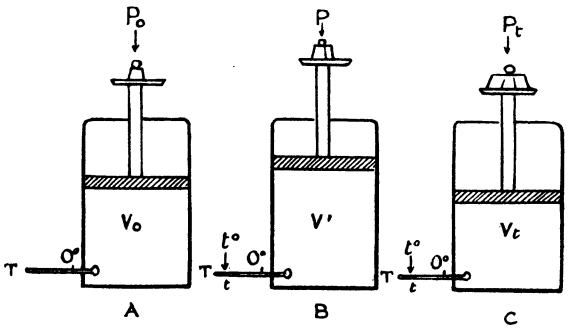
La temperatura absoluta se representa por T y su valor viene dado por la temperatura centígrada, aumentada en 273:

$$T = 273 + t$$

Ecuación de estado de un gas. — El estado de un gas depende, según hemos visto, de su volumen, su presión y su temperatura. Estas tres variables no son independientes entre sí, sino que, por el contrario, están ligadas por las leyes de Boyle y Mariotte y de Gay-Lussac, según hemos estudiado.

Es conveniente, por tanto, encontrar una ecuación que relacione las tres variables, presión, volumen y temperatura, y ello puede conseguirse fácilmente, según vamos a ver.

Supongamos una masa de un gas que se encuentra en un estado A), en el cual su temperatura es de 0° centígrados, y ocupa un volumen V_0 siendo su presión P_0, y supongamos que, sin modificar la presión, elevamos la temperatura a t° centígrados, con lo cual su volumen tomará un nuevo valor V', llamado a este nuevo estado del gas estado B). Finalmente, sin que se modifique ahora la temperatura t° del gas, modifiquemos su presión



hasta un valor cualquiera que designaremos por P con lo que su volumen se modificará nuevamente, pasando a tomar el nuevo valor V, y designaremos al nuevo estado del gas estado C).

En resumen, los tres estados sucesivos del gas se caracterizan por los siguientes valores de su presión, volumen y temperatura:

A)	P_0	V_0	$0°$
B)	P_0	V'	t
C)	P	V	t

Según se desprende de lo dicho en párrafos anteriores, el paso del estado A) del gas al estado B), que se verifica sin variar la presión, obedecerá a las leyes de Gay-Lussac, de forma que el volumen V' vendrá dado por la fórmula

$$V' = V_0(1 + \alpha t)$$

En cambio, el paso del estado B) al C), que tiene lugar sin variar la temperatura y que se reduce a un cambio de presión con la variación correspondiente del volumen, obedecerá a la ley de Mariotte, de forma que podrá escribirse que:

$$P_0 \cdot V' = P_t \cdot V_t$$

pero sustituyendo en esta última fórmula el valor de V' sacado de la anterior, se tiene que:

$$P \cdot V = P_0 V_0 (1 + \alpha t),$$

ecuación que relaciona las tres variables de que depende el estado de un gas y que recibe el nombre de ecuación de estado, la cual expresa que: *el producto de la presión por el volumen de un gas a una temperatura* t *es igual al producto de la presión por el volumen del mismo a cero grados multiplicado por el binomio de dilatación.*

La ecuación de estado puede ponerse también en otra forma, si se sustituye la temperatura centígrada por la absoluta. En efecto, la fórmula anterior puede escribirse:

$$PV = P_0 V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) = P_0 V_0 \left(\frac{273 + t}{273}\right)$$

y teniendo en cuenta que $273 + t = T$, resulta:

$$PV = P_0 V_0 \frac{T}{T_0}$$

donde T es la temperatura absoluta correspondiente a $t°$ centígrados y T_0 la correspondiente a $0°$ centígrados, y pasando T al primer miembro de la igualdad se tiene:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \text{constante.}$$

Esta forma de la ecuación de estado expresa que: *el producto del volumen de una masa gaseosa por su presión, dividido por la temperatura absoluta de la misma es una cantidad constante.*

Esta fórmula permite, dada la presión y el volumen de una masa gaseosa a una temperatura determinada, averigua el nuevo valor de una de estas tres variables (presión, volumen o temperatura) cuando se modifiquen las otras dos.

Lo mismo que las leyes de Mariotte y de Gay-Lussac no se cumplen rigurosamente para los gases reales, tampoco la ecuación general de los gases se puede aplicar con precisión a los mismos, y ello es natural, ya que para deducir la ecuación de estado nos hemos valido de las leyes de Mariotte y Gay-Lussac, suponiendo que se cumplían en aquellas transformaciones supuestas en nuestros razonamientos. La ecuación de estado, igual que aquellas leyes, se aplica con bastante aproximación cuando se trata de gases que se encuentran muy distantes de sus condiciones de licuación, y puede considerarse, como aquéllas, una ley límite.

Ejercicios

Enunciar las leyes de Gay-Lussac y explicar el significado de las mismas.

¿Qué es el cero absoluto de temperatura? ¿A qué temperatura del termómetro centígrado corresponde?

Problemas

1. Un cuerpo se encuentra a 27° centígrados. ¿Cuál será su temperatura absoluta? (Resp.: 300° absolutos.)
2. Una masa de aire ocupa 125 litros a 10°C y presión ordinaria. ¿Qué volumen ocupará a igual presión y temperatura de 60°C? (Resp.: 147,8 litros.)
3. Una masa de aire ocupa un volumen de 100 litros, cuando su temperatura es de 10°C y su presión de 1 kg/cm^2. ¿Qué presión habrá de soportar para que su volumen se reduzca a 50 litros mientras su temperatura es de 30°C? (Respuesta: 2,14 kg/cm^2.)

16. EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR. MÁQUINAS TÉRMICAS

Transformación del trabajo en calor y viceversa. — Cuando en invierno tenemos las manos frías, las frotamos fuertemente y notamos que se calientan. Al golpear un trozo de plomo con un martillo, ambos objetos se calientan, y lo mismo ocurre cuando se lima un trozo de hierro. Precisamente para evitar hasta donde es posible el rozamiento entre ejes y cojinetes de máquinas y evitar que se calienten, se emplean los lubricantes.

Por otra parte, el trabajo que realiza una locomotora arrastrando un tren, o un motor de un automóvil, se consigue gracias al calor producido por la combustión del carbón o la gasolina.

Todos estos ejemplos y otros muchos prueban que *el trabajo puede transformarse en calor y que el calor puede transformarse en trabajo.*

Principio de la equivalencia. Equivalente mecánico del calor. — La posibilidad de las dos transformaciones inversas que prueban los ejemplos anteriores, demuestra que el calor es una forma particular de energía. (Anteriormente se admitía la hipótesis del *calórico* de Rumford, según la cual el calor era una sustancia indestructible.) Las condiciones de transformación del trabajo en calor y del calor en trabajo, se han discutido y estudiado durante casi un siglo, habiéndose llegado a enunciar dos principios fundamentales llamados Principios de la Termodinámica, de los cuales el primero, llamado principio de la Equivalencia, se refiere a la relación entre la cantidad de trabajo y de calor puestas en juego en una transformación, sin preocuparse de las condiciones requeridas para que la transformación sea posible y el segundo se refiere precisamente a esas condiciones necesarias para que el calor se transforme en trabajo o viceversa.

El principio de la equivalencia puede enunciarse diciendo: *Siempre que el calor se transforma en trabajo o el trabajo en calor, existe una relación constante entre los valores numéricos de las cantidades de calor y trabajo puestas en juego, independiente de la naturaleza de la transformación.*

Se puede escribir por tanto que:

$$\frac{\mathcal{E}}{Q} = J$$

donde $\mathfrak{T}$ es el trabajo puesto en juego, Q el calor desarrollado o consumido y J una constante que se llama *equivalente mecánico del calor*. El valor de esta constante depende naturalmente de las unidades de trabajo y de calor en que se exprese $\mathfrak{T}$ y Q.

El valor de J ha sido objeto de cuidadosas determinaciones admitiéndose hoy lo siguiente:

Si $\mathfrak{T}$ se mide en kilográmetros y Q en kilocalorías

$$J = 426 \text{ kgm/kilocaloría},$$

es decir, que cada kilocaloría produce 426 kgm y viceversa.

Si $\mathfrak{T}$ se mide en julios y Q en calorías gramo

$$J = 4{,}1858 \text{ julio/caloría},$$

es decir, que cada caloría gramo produce 4,1858 julios.

Si $\mathfrak{T}$ se mide en ergios y Q en calorías gramo

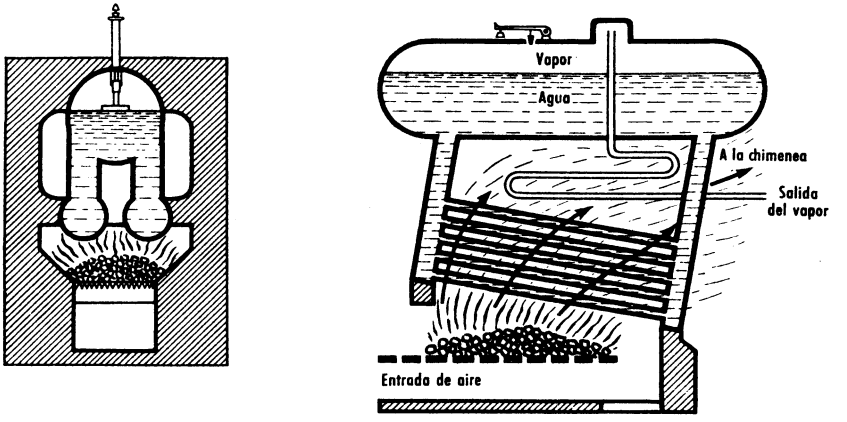
$$J = 4{,}1858 \cdot 10^7 \text{ erg/caloría},$$

es decir, que cada caloría gramo produce $4{,}1858 \cdot 10^7$ ergios.

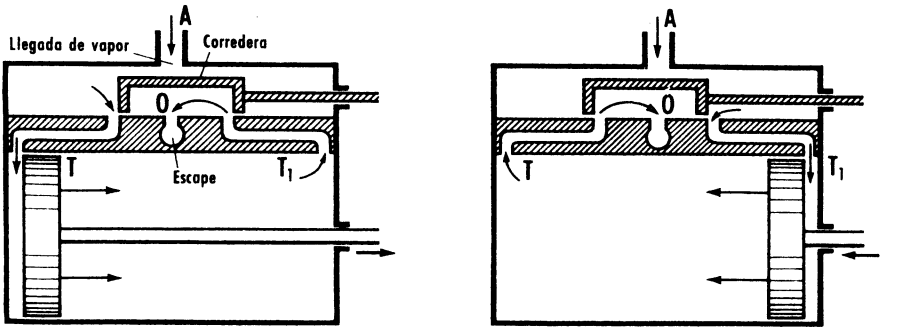
Máquina de vapor. — *Es una máquina térmica destinada a transformar el calor en trabajo mecánico.*

Los órganos esenciales de una máquina de vapor son: *el hogar, la caldera, el cilindro y los órganos de transmisión.*

El *hogar* es el lugar donde se quema un combustible, bien sea carbón, aceites pesados u otros, y se produce el calor que luego se transformará en trabajo mecánico.



Esquemas de calderas de vapor: a la izquierda, caldera con hervideros; a la derecha, caldera tubular.



Cilindro y caja de distribución en una máquina de vapor. El desplazamiento de la corredera permite al vapor actuar sobre una u otra cara del émbolo, imprimiéndole un movimiento de vaivén.

La *caldera o generador de vapor* es un recipiente cerrado en el que se pone agua y se produce vapor a presión superior a la atmosférica.

Existen diversos tipos de calderas. La más sencilla es de forma cilíndrica, con bases en forma de casquete esférico y dispuesta horizontalmente sobre el hogar. A veces el hogar está situado interiormente en la caldera, que le envuelve completamente y así se aprovecha mejor el calor.

Para conseguir una mayor superficie de calefacción al objeto de obtener grandes cantidades de vapor en poco tiempo se construyen también *calderas con hervideros,* que son dos tubos de menor sección situados debajo de la caldera y en comunicación con ella, los cuales quedan directamente encima de las llamas del hogar.

Mayor superficie de calefacción se consigue en las *calderas tubulares,* en las que la caldera tiene una serie de tubos de pequeña sección, entre los cuales pasan las llamas del hogar. Otras veces, como en las máquinas de tren, la caldera está atravesada por una serie de tubos estrechos, por donde pasan los gases calientes procedentes del hogar antes de llegar a la chimenea.

Cualquiera que sea la forma y disposición de la caldera, el agua que contiene se calienta a expensas del calor del hogar, y como se encuentra cerrada, sobrepasa los 100° sin hervir. Así se consigue vapor de agua a temperatura superior a los 100° y presión hasta de 16 atmósferas. Para que un exceso imprevisto de presión no pueda hacer estallar la caldera, ésta lleva una válvula de seguridad, que deja escapar el vapor cuando éste sobrepasa una presión mayor de lo conveniente. Un tubo de nivel permite saber en todo momento el nivel del agua dentro de la caldera, y añadir cuando es preciso.

El cilindro o cuerpo de bomba es una caja de forma cilíndrica y paredes muy resistentes, en cuyo interior se mueve un émbolo unido a un vástago, el cual es el encargado de transmitir el movimiento del émbolo a los órganos de transmisión.

El émbolo tiene un movimiento de vaivén debido al empuje del vapor procedente de la caldera que actúa sobre él alternativamente por uno y otro lado.

La *caja de distribución* es un dispositivo que permite la llegada del vapor a un lado y otro del émbolo. Lleva una pieza llamada corredera, que se mueve alternativamente, la cual permite el paso del vapor hacia un lado u otro del émbolo, y hace que el vapor que ya ha actuado sobre una cara del mismo salga al exterior cuando éste lo empuja en su movimiento de retroceso.

En la figura siguiente se representa la sección del cilindro y de la caja de distribución de una caldera de vapor.

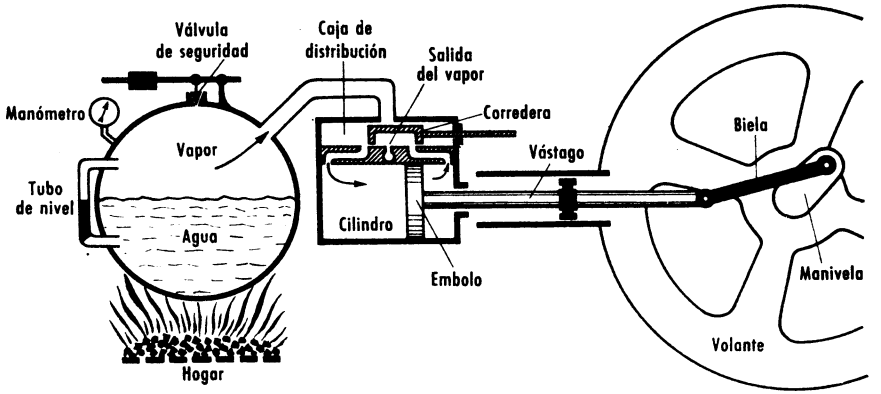
El vapor procedente de la caldera, entra por *A* y en la posición de la corredera indicada en la figura de la izquierda entra por *T* y actúa sobre el émbolo, que se mueve de izquierda a derecha, y empuja el vapor que se encuentra al otro lado el cual sale por T_1 y por *O* al exterior.

Al llegar el émbolo a la posición de la figura de la derecha, la corredera de la caja de distribución cambia de posición y toma la que también se indica en esta figura. En ese momento el vapor procedente de la caldera empieza a entrar en el cilindro por T_1, actuando sobre el émbolo y haciéndole desplazar de derecha a izquierda, mientras que el vapor que quedaba a este lado del émbolo sale ahora por *T* y luego por *O* hasta el exterior.

Órganos de transmisión. El movimiento de vaivén del vástago del émbolo ha de transformarse en movimiento de rotación de una rueda. Para ello el extremo libre del vástago va articulado con una *biela,* que está articulada a su vez por el otro extremo, con otra pieza llamada *manivela,* solidaria del árbol o eje de una rueda o volante.

El extremo del vástago sólo tiene un movimiento rectilíneo alternativo. El extremo de la manivela, por donde se encuentra articulada con la biela, sólo tiene un movimiento de rotación. La biela, que es la pieza intermedia, sigue con un extremo el movimiento rectilíneo y alternativo del vástago, mientras con el otro sigue el de rotación del extremo libre de la manivela.

Mecanismo de la transformación del calor en trabajo en la máquina de vapor. — El calor se produce en el hogar de la máquina de vapor y ha de transformarse finalmente en trabajo. Primero se invierte en calentar el agua y producir el vapor, que es el vehículo encargado de transportar el calor hasta donde se transformará en trabajo: el cilindro. El vapor sale de la caldera a temperatura muy elevada y lleva, por tanto, gran cantidad de calor. Cuando llega al cilindro empuja el émbolo y se expansiona, con lo que se enfría, perdiendo una cantidad de calor que es la que se transforma en trabajo. Cuando el vapor sale del cilindro a la atmósfera o a un condensador, aún lleva una cantidad de calor que ya no puede convertirse en trabajo y que por tanto se pierde.



Esquema de una máquina de vapor.

Rendimiento de una máquina de vapor. — No todo el calor que produce el combustible lo recibe el vapor. Una gran parte del mismo se pierde con los gases que escapan por la chimenea, por conductibilidad a través de las paredes y por radiación, de modo que si el combustible produce Q calorías el vapor sólo recibe de ellas Q_1, siendo $Q > Q_1$.

La relación

$$Rc = \frac{Q_1}{Q}$$

recibe el nombre de *rendimiento de la caldera* y no pasa en los casos mejores del 85 por ciento.

De la cantidad Q_1 de calor que lleva el vapor al entrar en el cilindro, una parte se convierte en trabajo mientras otra parte Q_2 sale con el vapor sin que pueda aprovecharse. El calor transformado en trabajo es $Q_1 - Q_2$.

La relación $R_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ entre el calor que se transforma en trabajo y el que recibe del hogar en igual tiempo el agente térmico (vapor), recibe el nombre de *rendimiento térmico*. El rendimiento térmico en las máquinas de vapor suele ser del orden de un 17 por ciento.

Si a estos bajos rendimientos se unen las pérdidas de trabajo en la transmisión, se comprende que lo que se entiende por *rendimiento industrial*, que es la relación entre la cantidad de calor proporcionado por el combustible y el transformado en trabajo disponible en el eje del volante de distribución, sea sumamente bajo, siendo en general del orden del 12 por ciento.

Principio de Carnot. — De lo dicho anteriormente se desprende que se podría aumentar el rendimiento disminuyendo o anulando la cantidad de calor Q_2 que lleva el vapor al salir del cilindro, pues de la relación

$$R_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

se deduce que si Q_2 fuese nulo, el rendimiento térmico sería igual a la unidad, es decir, de un cien por cien. Si esto fuese posible se podría concebir un barco que marchase tomando calor del agua del mar y dejando tras sí una estela de hielo. Esto es desgraciadamente completamente imposible según expuso Carnot en un principio que se refiere a las condiciones en que el calor puede ser transformado en trabajo.

El principio de Carnot expresa que Q_2 no puede ser nulo, sino que es preciso que la máquina térmica devuelva a una fuente fría una parte del calor que el agente térmico tomó de una fuente a temperatura más elevada, y el rendimiento térmico no puede ser la unidad ni en una máquina teóricamente perfecta puesto que Q_2 tiene que existir.

El principio de Carnot puede enunciarse diciendo:

Una máquina térmica no puede producir trabajo si intercambia calor con una sola fuente. Es preciso que tome una cantidad de calor Q_1 de una fuente de calor a elevada temperatura y devuelva una parte de él Q_2 a una fuente u órgano frío, siendo la diferencia $Q_1 - Q_2$ la que se transforma en trabajo.

Como puede probarse que las cantidades de calor Q_1 y Q_2 son proporcionales a las temperaturas absolutas de los órganos caliente y frío de las máquinas respectivamente, el rendimiento se puede expresar por:

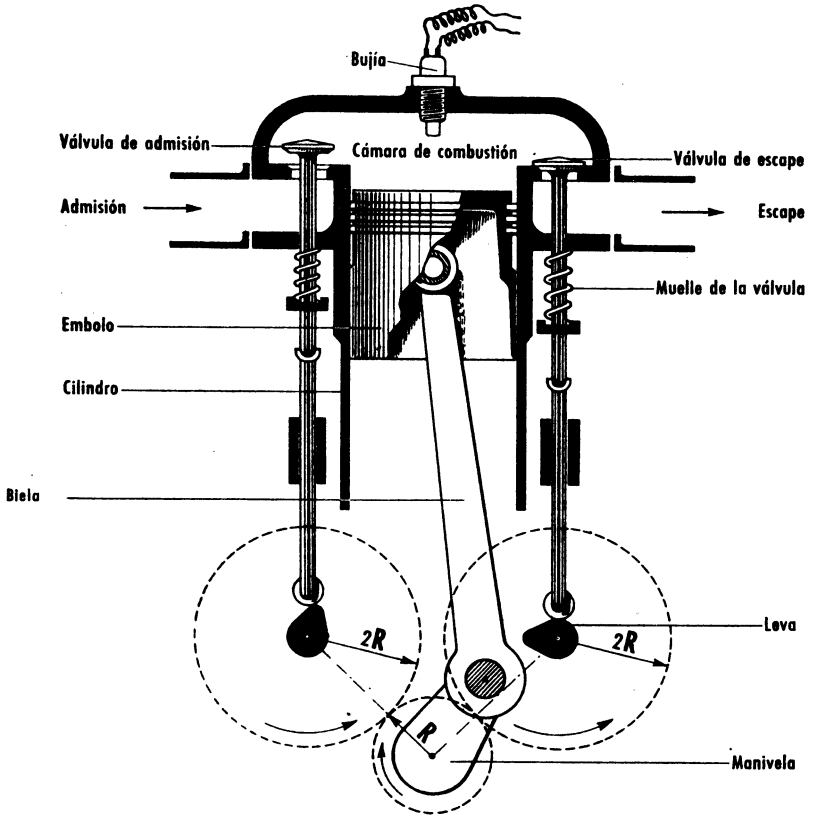
$$R_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

de donde se deduce que *el rendimiento puede aumentarse elevando la temperatura del órgano caliente y disminuyendo la temperatura del órgano frío.*

Por esta razón, las máquinas de vapor tienden a alcanzar cada vez mayores temperaturas en la caldera y se evita el que el vapor vaya directamente a la atmósfera haciendo que llegue a un condensador a temperatura lo más baja posible.

Motores de explosión. — *Los motores de explosión son máquinas térmicas encargadas de transformar también el calor en trabajo. Su órgano esencial es el cilindro.*

El combustible en esta clase de motores es unas veces gaseoso, como gas pobre o gas del alumbrado, y otras líquido como gasolina, alcohol o aceites pesados. En el caso de combustible líquido se gasifica previamente



Sección esquemática del cilindro de un motor de explosión de cuatro tiempos,

y mezclado luego con la cantidad de aire necesaria para su combustión completa, se hace llegar al interior del cilindro, donde hace explosión.

Los gases procedentes de la combustión en los motores de explosión se encuentran a elevadísima temperatura y gran presión, empujando entonces el émbolo y expansionándose, con lo que se enfrían. El calor perdido es el que se ha transformado en trabajo del émbolo.

Los motores de explosión más frecuentemente usados son los de cuatro tiempos. En ellos el cilindro está cerrado por un extremo y en su interior se mueve un émbolo que, aun en su posición más avanzada deja entre él y el fondo del cilindro un espacio llamado *cámara de combustión.* En la cámara de combustión se encuentra un dispositivo, llamado bujía, que tiene dos pequeños electrodos entre los cuales salta en el momento opor-

tuno una chispa eléctrica que inflama la mezcla. A ella desembocan también con conductos cerrados por dos válvulas que se abren oportunamente para que penetren los gases combustibles o para que salgan los gases producidos en la combustión.

El funcionamiento de un cilindro en un motor de explosión de cuatro tiempos tiene lugar del siguiente modo:

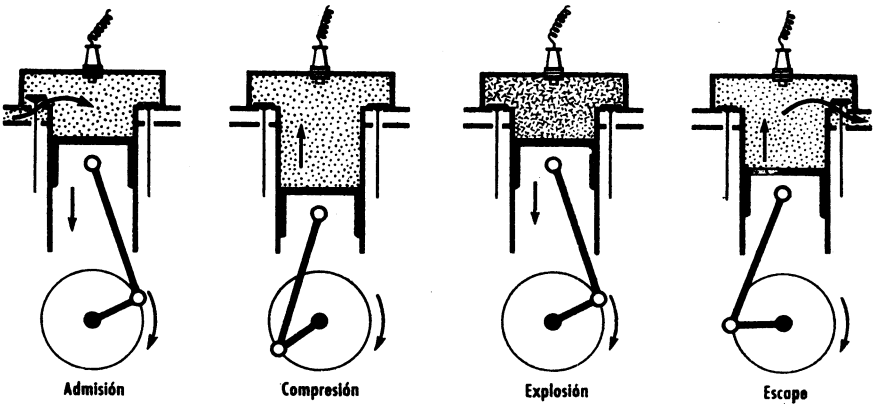
Primer tiempo: Admisión. — Estando el émbolo en la posición más avanzada se abre una de las válvulas, denominada de admisión, de manera que al retroceder el émbolo aspira la mezcla de aire y gas combustible que entra en el cilindro.

Segundo tiempo: Compresión. — Se cierra la válvula de admisión y el émbolo al avanzar nuevamente comprime la mezcla combustible dentro de la cámara de explosión.

Tercer tiempo: Explosión. — En este momento, estando las dos válvulas cerradas y el gas comprimido al máximo, salta una chispa eléctrica en la bujía que inflama la mezcla. Su explosión desarrolla una elevada temperatura, que determina una brusca expansión de los gases empujando violentamente al émbolo, y haciéndolo retroceder.

Cuarto tiempo: Expulsión. — Se abre la segunda válvula, llamada válvula de expulsión y cuando el émbolo avanza de nuevo expulsa los gases que se produjeron en la combustión.

Cuando el émbolo inicia el retroceso, se cierra la válvula de expulsión y se abre la de admisión dando comienzo nuevamente el ciclo que se repite ininterrumpidamente.



Sección esquemática del cilindro de un motor de explosión de cuatro tiempos, en cada uno de ellos.

Como se ve claramente, *sólo en el tercer tiempo se realiza trabajo,* venciéndose los otros tres por inercia una vez empieza a funcionar el motor, si sólo tiene un cilindro.

Generalmente, estos motores tienen un mínimo de cuatro cilindros, y en tal caso, los vástagos de todos ellos actúan sobre un mismo cigüeñal, estando dispuestos los cilindros de manera que siempre se halla uno en el tercer tiempo.

Cuando en estos motores se acoplan varios cilindros, pueden colocarse unos a continuación de otros en una sola fila, en dos filas o todos en un mismo plano alrededor de un punto. Por estas disposiciones los motores se conocen con los nombres de motores en línea, en V o en estrella.

El movimiento de vaivén de los vástagos de los cilindros, se convierte en movimiento de rotación de manera análoga a la que vimos en las calderas de vapor.

Rendimiento de los motores de combustión interna. — El rendimiento de los motores de explosión o de combustión interna es mejor que en las máquinas de vapor, en primer lugar porque el calor se produce dentro del mismo cilindro y por tanto no hay problema de rendimiento de caldera. En segundo lugar porque la temperatura que se alcanza en el momento de la explosión es muy superior a la que tiene el vapor de agua cuando entra en el cilindro, alcanzándose un rendimiento térmico del orden de un 34 por ciento. Como por otra parte las pérdidas en la transmisión son pequeñas, el rendimiento industrial suele ser del orden del 30 por ciento, que corresponde a un consumo aproximado de 240 g de gasolina por caballo de potencia y hora de funcionamiento del motor.

Ejercicios

Enúnciese el principio de la equivalencia y explíquese su significado.

Describir una máquina de vapor y el funcionamiento de cada uno de sus órganos de la manera más sucinta posible. ¿Cómo y cuándo se transforma el calor en trabajo en una máquina de vapor?

Enunciar el Principio de Carnot y explicar su significado. ¿Puede una máquina térmica transformar totalmente una cantidad de calor en trabajo?

¿Qué es el rendimiento de una máquina térmica? ¿De qué factores depende?

Problemas

1. Una masa de plomo de 100 g cae desde una altura de 3000 m sobre otra masa también de plomo de 500 g. Suponiendo que la temperatura inicial de ambas masas de plomo es de 15° y que toda la energía potencial perdida por la primera masa se convierte íntegramente en calor que absorben las dos masas de plomo, ¿cuál

será la temperatura alcanzada después del choque? (Calor específico del plomo $c = 0{,}031$ cal/g.) (Resp.: 52,8°.)

2. Calcular el rendimiento teórico máximo de una máquina de vapor cuando la temperatura de su caldera es de 215°C y la de la atmósfera donde escapa el vapor después de actuar sobre el émbolo 15°? (Resp.: 0,41.)

17. PROPAGACIÓN Y REFLEXIÓN DE LA LUZ

La luz y su propagación. Rayo luminoso. — Todos los que poseemos el don de la vista sabemos bien lo que es la luz.

Se puede definir la luz diciendo que *es una forma de energía que impresiona nuestro sentido de la vista.*

La ciencia que estudia los fenómenos luminosos recibe el nombre de Óptica.

Coloquemos tres pantallas opacas dotadas cada una de ellas de un pequeño orificio de forma que éstos se encuentren en línea recta. Pongamos detrás de la última pantalla un objeto luminoso, de manera que las tres pantallas queden interpuestas entre él y nosotros. Podremos comprobar que solamente veremos la luz cuando los tres orificios de las pantallas estén en línea recta con el manantial de luz y nuestro ojo se encuentre precisamente en la dirección de esta recta.

Esta experiencia prueba la exactitud de una ley fundamental en óptica que es que *la luz se propaga en línea recta.*

Las direcciones en que la luz se propaga a partir de un punto luminoso se llaman rayos luminosos.

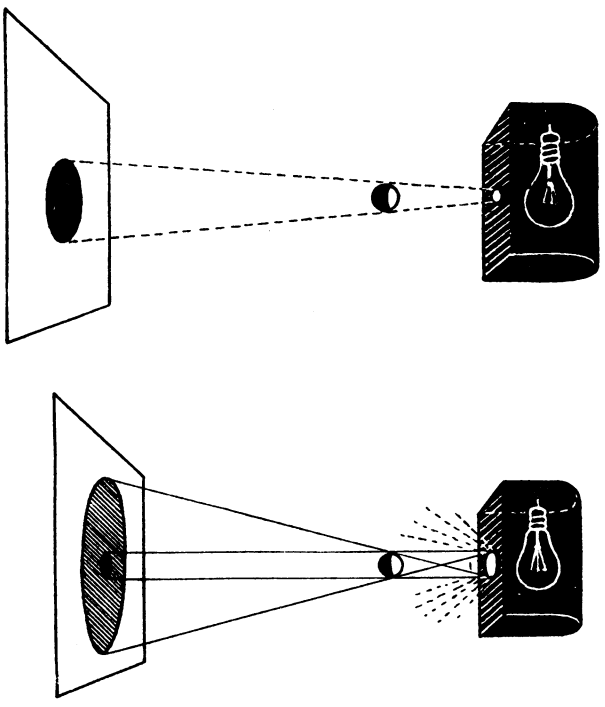
Desde luego no puede aislarse un rayo luminoso, puesto que éste es solamente una simple dirección geométrica. Podemos, no obstantes, limitar la luz que se propaga en el espacio, mediante pantallas con orificios muy estrechos.

La luz que pasa por un orificio estrecho de una pantalla se llama haz luminoso.

Sombra y penumbra. — La propagación rectilínea de la luz da lugar a la formación de sombras.

Dispongamos un foco luminoso tan pequeño como sea posible (por ejemplo, colocando una lámpara eléctrica dentro de una caja de paredes opacas, con un pequeño orificio, dentro de una habitación oscura). Si entre el foco luminoso y una pantalla situada frente a él colocamos una pequeña esfera metálica, observaremos que en la pantalla aparece una zona carente de luz que recibe el nombre de *sombra.*

Esta zona de sombra está formada por todos los puntos de la pantalla, de modo que si quisiéramos unirlos con la fuente luminosa mediante una línea recta tendríamos que hacerlo atravesando el cuerpo opaco.



La propagación rectilínea de la luz da lugar a la formación de sombra o de sombra y penumbra, al interponerse un cuerpo opaco entre un foco luminoso y una pantalla.

Si el foco luminoso es mayor (como sucede si el orificio de la caja en que está encerrada la lámpara se hace de un diámetro de dos o tres centímetros, cubriéndolo con un vidrio esmerilado), observaremos que en la pantalla, el paso de la zona de luz a la zona de sombra, no se hace como antes bruscamente, sino pasando por una zona intermedia, de claroscuro, llamada *penumbra.*

La explicación de este fenómeno es fácil teniendo en cuenta la propagación rectilínea de la luz. Hay unos puntos de la pantalla que no reciben luz de ningún punto del foco luminoso. Éstos forman la sombra. Otros reciben luz de unos, pero de otros no. Estos puntos quedan parcialmente iluminados y constituyen la penumbra. Finalmente, hay otros que reciben luz de todos los puntos de la fuente luminosa. Estos puntos forman la zona de luz.

Velocidad de la luz. — La propagación de la luz tiene lugar a una velocidad tan grande que es muy difícil de medir hasta el punto de que durante mucho tiempo se creyó que la luz se propagaba instantáneamente, es decir, a velocidad infinitamente grande.

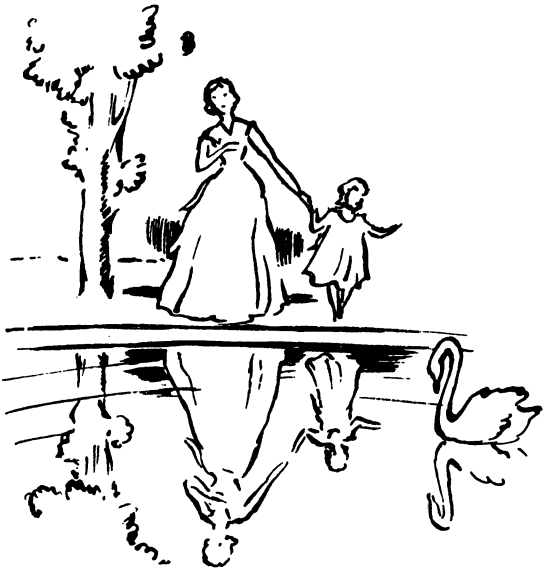
Sin embargo, ciertas observaciones pusieron de manifiesto que la luz necesita cierto tiempo para ir de un sitio a otro.

La primera determinación de la velocidad de la luz fue hecha por el astrónomo dinamarqués Römer; observando las ocultaciones de un satélite del planeta Júpiter en el cono de sombra proyectado por éste, iluminado por el Sol. *El valor de la velocidad de la luz es de 300 000 kilómetros por segundo.*

Posteriormente a Römer, se han realizado determinaciones por otros procedimientos muy exactos y siempre se han encontrado valores muy próximos al hallado primeramente, por lo cual se admite aquél con un pequeño error.

Reflexión de la luz. Sus leyes. — Cuando miramos oblicuamente la superficie tranquila de un estanque o de un lago, vemos reproducido en ella el paisaje situado frente a nosotros. El mismo fenómeno se observa sobre la superficie de los metales pulidos, los muebles barnizados, etc.

En general, cuando la luz llega a la superficie de separación de dos

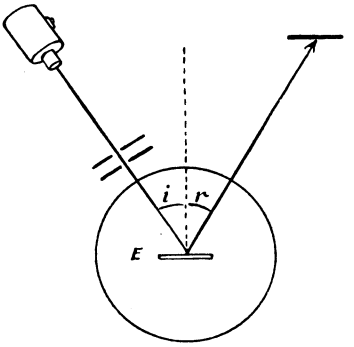


La superficie tranquila de un lago refleja la luz como un espejo.

medios, como el aire y el agua, una parte de ella cambia bruscamente la dirección y vuelve sobre el mismo medio de procedencia.

Recibe el nombre de reflexión de la luz el cambio brusco de dirección que sufre la luz al incidir sobre la superficie de separación de dos medios, volviendo sobre el medio de procedencia.

Dibujemos sobre una mesa una circunferencia y coloquemos en su centro verticalmente un pequeño espejo. Dirijamos hacia el espejo un haz de rayos procedentes de una linterna, limitándolo mediante dos pantallas que tengan un orificio, colocadas de forma que sus orificios queden situados sobre un mismo radio de la circunferencia. Recogiendo la luz reflejada sobre una pantalla podremos dibujar sobre la mesa las direcciones de los haces incidente y reflejado, y medir los ángulos que dichos haces forman con la normal trazada al espejo en el punto de incidencia.



Cuando se refleja un rayo luminoso, los ángulos de incidencia y de reflexión son iguales.

Se llama *rayo incidente* a la dirección de la luz que llega al espejo y *rayo reflejado* a la dirección de la luz después de chocar con el espejo. Se llama *ángulo de incidencia* al que forma el rayo incidente con la normal a la superficie reflectora en el punto de incidencia, y *ángulo de reflexión* al que forma el rayo reflejado con la misma normal.

Cualquiera que sean las condiciones de la experiencia, observemos que se cumplen las siguientes leyes:

1.ª *El rayo incidente, la normal en el punto de incidencia y el rayo reflejado están en un mismo plano.*

2.ª *El ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión son iguales.*

Es decir:

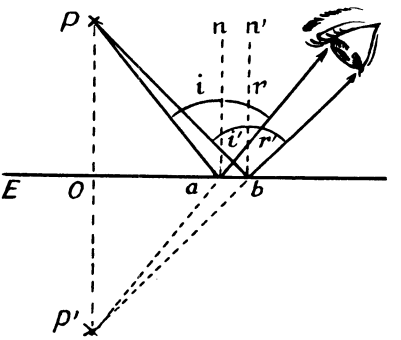
$$\hat{i} = \hat{r}$$

Espejos planos. — *Una superficie pulida cualquiera capaz de reflejar la luz, recibe el nombre de espejo.* Si esta superficie es plana recibe el nombre de *espejo plano.*

Supongamos un espejo plano y un punto luminoso delante de él. De los infinitos rayos que parten del mismo, los que lleguen al espejo se reflejarán en él según las leyes enunciadas, de forma que si nos situamos de modo que penetren en nuestro ojo, nos dan la sensación de que proceden de otro punto situado detrás del espejo.

El punto de donde parecen proceder los rayos que llegan a nosotros recibe el nombre de imagen virtual.

Si en lugar de un punto luminoso se tratase de un objeto cualquiera, éste produciría una imagen, que estaría formada por las imágenes de cada uno de los puntos que lo forman.



Los rayos procedentes del punto luminoso *P* después de reflejarse penetran en nuestro ojo y parecen proceder de *P'*, que es la imagen virtual del primero.

La imagen de un punto en un espejo plano es otro punto simétrico de éste con relación al espejo. Se comprueba fácilmente que un espejo plano produce imágenes virtuales y simétricas de los objetos, es decir, de igual tamaño, situadas detrás del espejo, a la misma distancia de éste que el objeto, y no superponible con él, estando el objeto y su imagen en la misma relación que nuestra mano derecha con la izquierda.

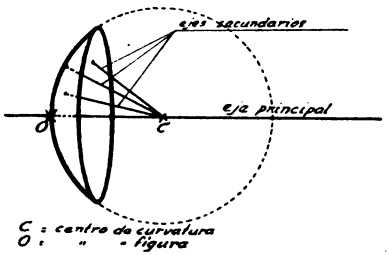
Para determinar geométricamente la imagen de un punto en un espejo plano basta con trazar dos rayos procedentes del punto objeto, que se reflejen en el espejo según las leyes de la reflexión. Los rayos reflejados saldrán divergentes y sus prolongaciones en sentido contrario al de propagación se reunirán en un punto situado detrás del espejo que es la imagen buscada.

En realidad, sabiendo que la imagen de un punto en un espejo plano es otro punto simétrico del primero en relación al espejo, basta trazar desde el punto luminoso una perpendicular al plano del espejo, y la imagen se encontrará sobre esta línea, al otro lado del espejo y a una distancia del mismo igual a la distancia del punto luminoso al espejo. En la figura, $PO = P'O$.

Para determinar la imagen de una recta, basta con determinar las de sus extremos, pues las de los puntos intermedios se encontrarán sobre la recta que une aquellas imágenes.

Espejos esféricos. — *Se llaman espejos esféricos a los constituidos por la superficie pulimentada de un casquete esférico.* Según que la superficie pulimentada sea la interior o la exterior del casquete, el espejo recibe el nombre de *cóncavo* o *convexo.*

Se llama *centro de curvatura* al de la esfera a que pertenece el casquete y *centro de figura* al polo del casquete. La recta que une ambos centros, indefinida en ambos sentidos, recibe el nombre de *eje principal.*

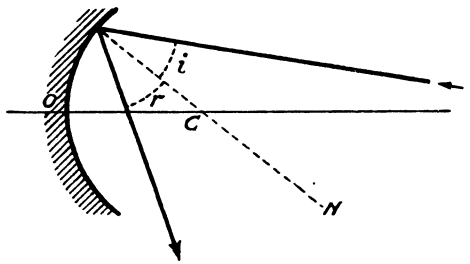


Un espejo esférico es un casquete esférico pulimentado capaz de reflejar la luz. Aquí están señalados sus elementos.

Cualquier otra recta que pase por el centro de curvatura y por un punto del espejo recibe el nombre de *eje secundario.*

Los espejos esféricos suelen representarse por una sección del mismo determinada por un plano que pase por su eje principal. Estudiando lo que pasa en ella puede deducirse lo que ocurre en todo el espejo.

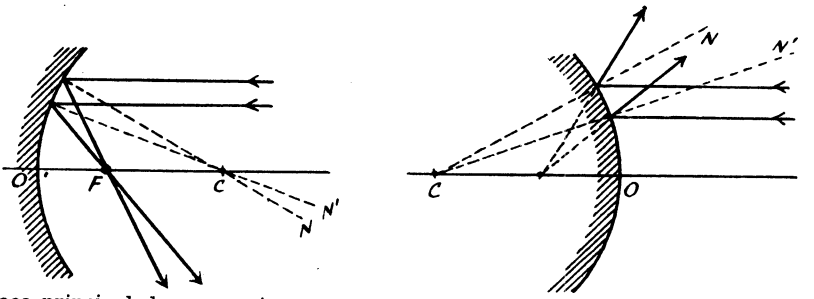
Construcción del rayo reflejado. — Para determinar geométricamente el rayo reflejado en un punto de un espejo esférico, basta trazar la normal



Las leyes de la reflexión se cumplen en toda clase de espejos.

al espejo en dicho punto (que será el eje secundario que pase por él), y trazar luego el rayo reflejado de manera que forme un ángulo de reflexión igual al de incidencia.

Foco principal de un espejo esférico. — Supongamos un espejo esférico cóncavo representado por una sección principal del mismo e imaginemos una serie de rayos paralelos al eje principal que inciden sobre él. Si tra-



El foco principal de un espejo es el punto de su eje principal donde se reúnen los rayos que llegan al espejo paralelos a dicho eje, después de reflejarse, o donde se reúnen sus prolongaciones cuando salen divergentes.

zamos con cuidado los rayos reflejados correspondientes siguiendo las normas indicadas, observaremos que vienen a coincidir en un punto del eje principal que está aproximadamente en el punto medio del segmento comprendido entre los centros de curvatura y de figura.

Repitamos la construcción con un espejo convexo, representado igualmente por una sección principal del mismo. Observaremos que los rayos reflejados son divergentes, pero sus prolongaciones en sentido contrario al de propagación se reúnen también en un punto del eje principal que se encuentra en el punto medio del segmento determinado por los centros de curvatura y de figura del espejo.

Recibe el nombre de foco principal de un espejo esférico el punto del eje principal donde se reúnen los rayos que llegan al espejo paralelos al eje principal después de reflejarse, si el espejo es cóncavo, o donde se reúnen sus prolongaciones cuando el espejo es convexo.

El primero es un foco *real*, y el segundo es *virtual*.

Imagen de un punto en un espejo esférico. Su determinación. — *La imagen de un punto en un espejo es el punto donde se reúnen los rayos, que partiendo del primero se reflejan en el espejo (imagen real) o donde se reúnen sus prolongaciones en sentido contrario al de propagación si al reflejarse salen divergentes (imagen virtual).*

Para determinar la imagen de un punto, esté o no en el eje principal, basta con determinar la marcha de dos rayos, pues donde se encuentren éstos se encontrarán todos los demás.

De todos los rayos que parten de un punto luminoso y llegan a un espejo esférico, hay dos cuya marcha conocemos bien. Son el rayo que incide paralelo al eje principal, pues según hemos visto, él o su prolongación pasará por el foco, y el rayo que incide normalmente, es decir,

según la dirección del centro de curvatura, que se reflejará en la misma dirección.

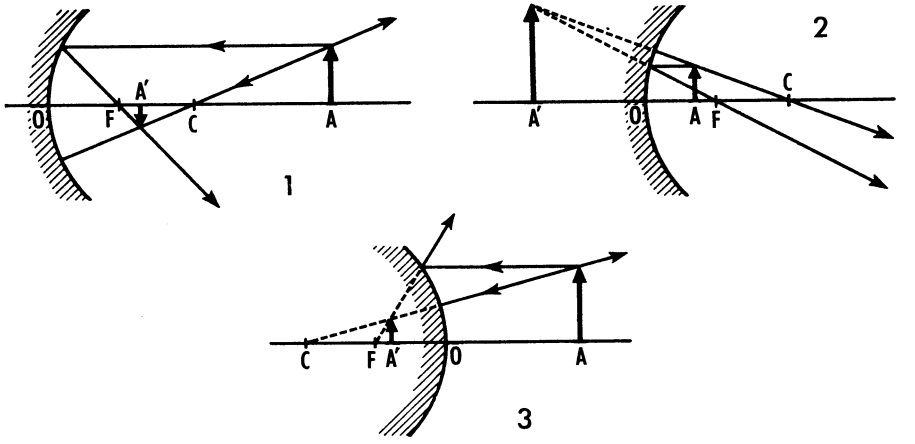
Por tanto, para determinar la imagen de un punto, trazaremos el rayo paralelo al eje principal y el que incide en la dirección del centro de curvatura y donde se encuentren después de reflejarse, o donde se encuentren sus prolongaciones, si salen divergentes, allí se encontrará la imagen buscada. En el primer caso la imagen es real y en el segundo virtual.

Determinación geométrica de la imagen de un objeto. — Puesto que un objeto luminoso está formado por puntos luminosos, podremos construir su imagen por puntos, siguiendo las reglas anteriores y considerando tantos puntos como sean necesarios para la determinación geométrica de la imagen.

Generalmente, se consideran objetos constituidos por rectas perpendiculares al eje principal. De esta manera la imagen se determina buscando la de los extremos del segmento.

Podemos comprobar gráficamente, de acuerdo con lo que aquí se expone, y conforme también con la experiencia que en los espejos cóncavos:

1.º Si el objeto se encuentra más allá del centro de curvatura, la imagen es real e invertida y de menor tamaño que el objeto, situada entre el foco y el centro de curvatura.



Los espejos cóncavos dan imágenes virtuales de los objetos situados entre el espejo y su foco. Los espejos convexos dan imágenes virtuales de los cuerpos cualquiera que sea su posición.

2.º A medida que el objeto se acerca al espejo, la imagen se separa y aumenta de tamaño, hasta que al estar el objeto en el centro de curvatura, la imagen se forma en ese mismo punto y es del mismo tamaño que el objeto.

3.º Si el objeto se encuentra entre el centro de curvatura y el foco, la imagen está más allá del centro de curvatura, sigue siendo real e invertida y tanto mayor cuanto más cerca esté el objeto del foco.

4.º Si el objeto se encuentra en el foco, los rayos salen paralelos después de reflejarse y no se forma imagen.

5.º Si el objeto se encuentra entre el foco y el espejo, la imagen es virtual, derecha y mayor, tanto mayor cuanto más cerca esté el objeto del foco.

En los espejos convexos, las imágenes son siempre virtuales y derechas y de menor tamaño que el objeto. Se encuentran situadas entre el foco y el espejo, tanto más cerca de éste cuanto más cerca del mismo se encuentre el objeto. El tamaño crece al aproximarse el objeto al espejo.

Ejercicios

Explicar valiéndose de un dibujo la formación de sombras y penumbras.

Enunciar las leyes de la reflexión de la luz y explicar su significado. ¿Estas leyes son válidas para toda clase de espejos?

Decir qué es un espejo esférico y cuáles son sus elementos.

¿Cuáles son los rayos luminosos cuya marcha se conoce de antemano en un espejo esférico? ¿Cómo se determina la imagen de un punto en un espejo esférico?

Determinar la imagen de un objeto en un espejo esférico, tanto cóncavo como convexo y comprobar cómo va modificándose en posición y tamaño al disminuir la distancia del objeto desde el infinito hacia el foco.

18. REFRACCIÓN DE LA LUZ

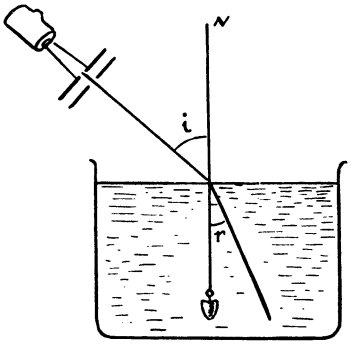
Refracción de la luz. — Tomemos una vasija grande con agua en la que hemos añadido unas gotas de leche para enturbiarla ligeramente. Coloquémosla en una habitación completamente oscura y dirijamos oblicuamente a su superficie un haz de rayos paralelos procedentes del Sol o de una linterna de proyección.

Gracias a las partículas de polvo que siempre se encuentran en el aire podremos conocer el camino de la luz incidente y gracias a las partículas de leche podremos conocer también la marcha de los rayos de luz después de atravesar la superficie de separación entre el aire y el agua.

Sobre el punto de incidencia mantengamos una plomada, que nos indicará la normal en dicho punto, y así podremos medir los ángulos que forman los rayos incidente y refractado, con la normal a la superficie del agua en el punto de incidencia.

Observaremos que la luz cambia de dirección al pasar del aire al agua, acercándose a la normal, aunque sin cambiar de plano de propagación.

Se llama *ángulo de incidencia* al que forma el rayo incidente con la



Cuando un rayo luminoso pasa de un medio transparente a otro más refringente, se desvía y se acerca a la normal.

normal a la superficie de separación de los dos medios en el punto de incidencia, y *ángulo de refracción* al que forma el rayo refractado con la misma normal.

Se llama refracción de la luz a la desviación que experimentan los rayos luminosos al pasar de un medio transparente a otro.

Podemos hacer variar el ángulo de incidencia y observaremos que también cambia el ángulo de refracción, que siempre se conserva menor que el de incidencia y observaremos que este fenómeno tiene lugar con arreglo a las siguientes leyes:

1.ª El rayo incidente, la normal en el punto de incidencia y el rayo refractado están en un mismo plano.

2.ª El seno del ángulo de incidencia partido por el seno del ángulo de refracción es una cantidad constante, cuyo valor se llama índice de refracción del segundo medio con relación al primero.

Es decir:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n$$

Esta segunda ley, significa que los ángulos de incidencia y de refracción no son iguales, siendo mayor el que corresponde al medio menos denso. Según ella, cuando un rayo de luz pasa de un medio menos refringente a otro más refringente se acerca a la normal, y cuando pasa desde el medio más refringente al menos refringente se aleja de la normal.

Imagen de un objeto a través de la superficie plana de separación de dos medios. — El cambio de dirección que sufren los rayos de luz al pasar de un medio a otro, y la circunstancia de que a nosotros nos parece situada la fuente luminosa en el punto de donde creemos que provienen los rayos,

hace que muchas veces creamos situados los objetos luminosos donde no están realmente.

Supongamos un manantial luminoso situado dentro del agua. Los rayos emitidos por éste al salir del agua se desvían, separándose de la normal, puesto que pasan de un medio más denso o refringente a otro menos denso o menos refringente. Si estamos situados fuera del agua y recibimos estos rayos, nos parecerá que proceden de otro punto, y creemos que en éste es donde está situado el manantial luminoso.

Por esta razón, los objetos situados en el fondo de una balsa nos parecen menos profundos de lo que realmente están.

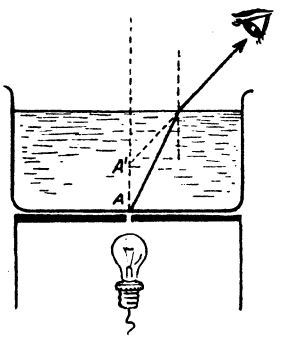
La misma explicación tiene el conocido fenómeno que se observa cuando se introduce oblicuamente un bastón en el agua: lo vemos quebrado por la superficie del agua como si la parte sumergida se doblase hacia arriba.

Reflexión total. Ángulo límite. — Cuando la luz atraviesa la superficie de separación de dos medios y pasa del más denso al menos denso, se separa de la normal según hemos dicho anteriormente.

Supongamos un punto luminoso situado en el seno de una masa de agua de un estanque. Los numerosos rayos de luz que emite hacia la superficie llegarán a ésta, formando un ángulo mayor o menor, y en general se refractarán saliendo fuera del agua.

En todos los casos el ángulo de refracción será superior al ángulo de incidencia, puesto que la luz pasa del medio más refringente (agua) al menos refringente (aire).

A partir del rayo que incide normalmente a la superficie (que no se desvía), la desviación del rayo refractado va siendo mayor a medida que consideramos rayos más alejados de esta normal, y existe un rayo incidente al que corresponde un rayo refractado que sale ya rasante a la superficie del agua. Cualquier rayo que forme un ángulo de incidencia mayor que este último no podrá salir fuera del agua, ya que le correspondería un ángulo de refracción mayor de 90°.



Al salir los rayos luminosos procedentes del punto *A* al aire, se desvían y para el observador parece que procedan del punto *A'*, que es la imagen de *A*.

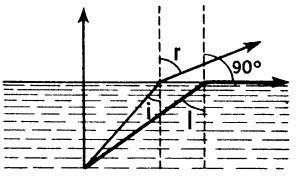
El ángulo de incidencia al que corresponde un ángulo de refracción igual a 90 grados recibe el nombre de ángulo límite.

Todos los rayos que incidan con ángulo superior al ángulo límite no se refractarán, sino que se reflejarán sobre la superficie de separación de los medios y volverán al medio de procedencia.

La luz que incide con ángulo inferior al ángulo límite, se refracta y sale al aire, aunque una parte de la misma se refleja; en cambio, la que incide con ángulo superior al límite se refleja totalmente. Por eso este fenómeno recibe el nombre de *reflexión total de la luz.*

Cuando el ángulo de incidencia es igual al ángulo límite, el de refracción vale 90° y podrá escribirse:

$$\frac{\text{sen } l}{\text{sen } 90^\circ} = \frac{\text{sen } l}{1} = \frac{1}{n}$$



o sea que

$$\text{sen } l = \frac{1}{n}$$

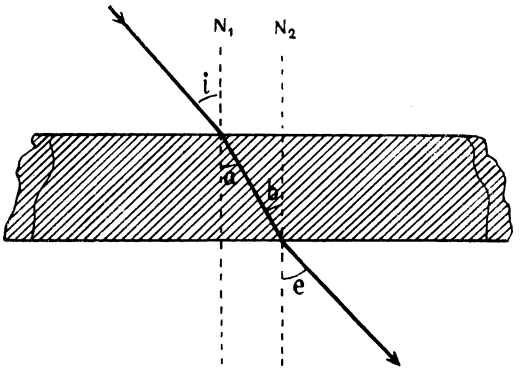
Esta igualdad nos permite hallar el ángulo límite para dos medios determinados conociendo el índice de refracción de uno respecto al otro, o hallar el índice de refracción midiendo el ángulo límite.

El fenómeno de reflexión total explica el espejismo producido con frecuencia en el desierto. Sobre la arena fuertemente calentada por los rayos del sol, las capas de aire se calientan más cuanto más próximas se encuentran al suelo, siendo, por tanto, cada vez menos refringentes de arriba abajo. Los rayos luminosos procedentes de un punto situado a cierta altura van refractándose en las capas de aire y alejándose en cada refracción de la vertical, hasta incidir en una de ellas con un ángulo superior al ángulo límite. En este momento sufren una reflexión total, y la luz se desvía de nuevo hacia arriba. Un observador que reciba estos rayos luminosos tendrá la sensación falsa de que se reflejan en una superficie de agua.

Desplazamiento de un rayo luminoso al atravesar una lámina de caras paralelas. — Cuando un rayo de luz incide sobre una lámina transparente de caras paralelas, sufre al atravesarla dos desviaciones, una al entrar y otra al salir. Suponiendo que el medio de la lámina sea más refringente que el medio que le rodea, en la primera desviación se acerca a la normal, mientras que en la segunda se aleja de ella. Ambas desviaciones son iguales y de sentidos contrarios, y el rayo luminoso sale de la lámina en una dirección paralela a la que tenía antes de entrar, aunque desplazado lateralmente con relación a esta última.

Efectivamente, observando la figura puede escribirse:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n \qquad \text{y} \qquad \frac{\text{sen } e}{\text{sen } r'} = n$$



Cuando un rayo luminoso atraviesa una lámina de caras paralelas, sufre dos desviaciones y sale paralelo al rayo incidente, aunque desplazado con relación a aquél.

y como $r = r'$ por ser ángulos alternointernos, resulta

$$i = e.$$

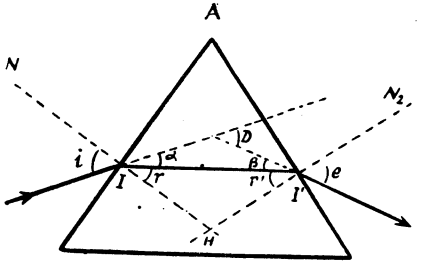
Pero siendo las caras paralelas, sus normales lo son también y, por tanto, los otros lados de los ángulos i y e lo son igualmente como habíamos supuesto.

Cuando un rayo luminoso atraviesa una lámina de caras paralelas, no cambia de dirección, pero sufre un desplazamiento paralelamente a sí mismo.

Prisma óptico. — *Recibe el nombre de prisma óptico todo medio transparente limitado por caras planas que se cortan.*

Generalmente el prisma óptico se realiza por un prisma geométrico triangular, pero la única condición necesaria es, como queda dicho, que sea un medio transparente, y que esté limitado por dos caras planas no paralelas.

El ángulo diedro que forman las dos caras no paralelas recibe el nom-



Cuando un rayo luminoso atraviesa un prisma, sufre dos desviaciones y se acerca a la base del prisma.

bre de *ángulo de prisma*. Una sección del mismo, según un plano perpendicular a la arista de su ángulo diedro, recibe el nombre de *sección principal del prisma*.

Para estudiar la marcha de los rayos luminosos en un prisma óptico, basta estudiar la marcha de los mismos según una sección principal.

Un rayo luminoso que incida sobre una cara del prisma penetrará en él acercándose a la normal a aquella cara en el punto de incidencia, y cuando llegue a la segunda cara emergerá del prisma (si no incide con ángulo superior al ángulo límite), separándose de la normal a esta segunda cara.

En la primera refracción se cumplirá que:

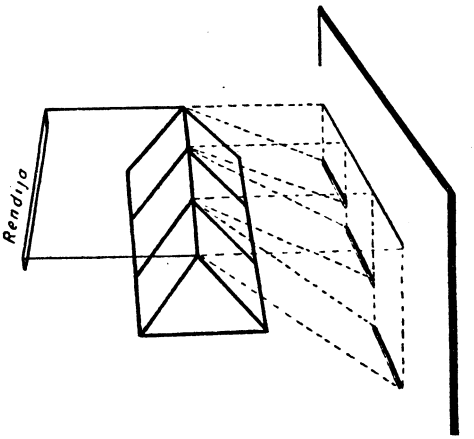
$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n,$$

donde n es el índice de refracción del prisma, y en la segunda refracción, puesto que la luz pasa del medio más refringente al menos refringente, se cumplirá:

$$\frac{\text{sen } e}{\text{sen } r'} = n$$

Desviación de la luz por un prisma óptico. — *Cuando un rayo luminoso atraviesa un prisma óptico sufre una desviación cuyo valor depende: 1.º, del índice de refracción del prisma en relación al medio que le rodea; 2.º, del valor del ángulo del prisma, y 3.º, del ángulo de incidencia de la luz en la primera cara.*

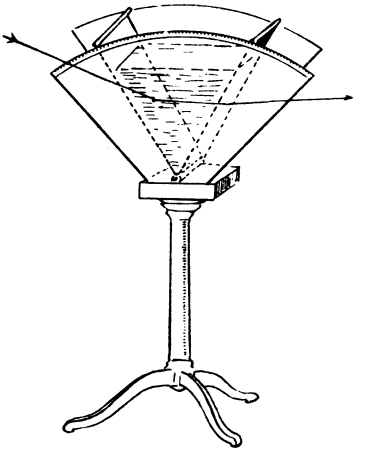
Todas estas circunstancias se deducen teóricamente y se pueden comprobar fácilmente experimentando con prismas de diferentes sustancias y de diversos ángulos.



Desviación de la luz por un prisma óptico.

Para comprobar la influencia del índice de refracción, se dispone una fuente luminosa constituida por una rendija estrecha. El haz luminoso se hace incidir sobre un poliprisma, formado por varios prismas iguales de sustancias diferentes unidos lateralmente, puesto de forma que su arista quede paralela a la rendija luminosa.

Colocando al otro lado del poliprisma una pantalla, sobre ella se forman tantas imágenes de la rendija como prismas parciales tenga el poliprisma. Todas son paralelas entre sí, y tanto más desviadas hacia la base del mismo, cuanto mayor sea su índice de refracción.

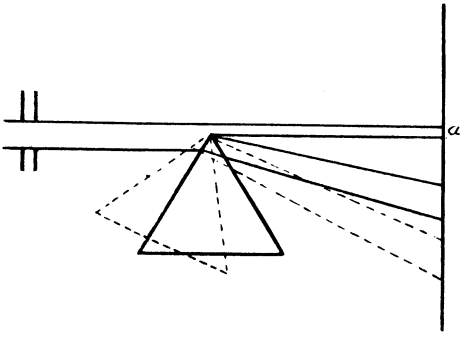


La desviación del rayo luminoso depende del ángulo del prisma.

Para comprobar la influencia del ángulo del prisma en la desviación de la luz, se emplea un prisma de ángulo variable. Éste está formado por una especie de cubeta prismática que contiene agua, cuyas caras están formadas por dos láminas de vidrio móviles alrededor de una bisagra que constituye la arista del prisma. Las bases del mismo son dos paredes metálicas.

Haciendo incidir sobre una cara del prisma un haz de rayos procedentes de una rendija paralela a la arista del mismo, observaremos al otro lado la imagen correspondiente sobre la pantalla. Manteniendo fija la posición de la cara donde incide la luz, y moviendo la otra de forma que el ángulo del prisma crezca, observaremos que la desviación de la luz aumenta también al mismo tiempo.

Finalmente, para comprobar la influencia del ángulo de incidencia de la luz, se coloca un prisma con su arista paralela a la rendija luminosa que reciba la luz cerca de la misma, de forma que el haz incidente quede dividido en dos partes, una que llegue directamente a la pantalla sin atravesar el prisma, y otra que lo atraviese. Haciendo girar el prisma alrededor de su arista, observaremos que la imagen de la rendija dada



Haciendo girar este prisma alrededor de su arista, se observa que la desviación de la luz depende del ángulo de incidencia sobre su primera cara.

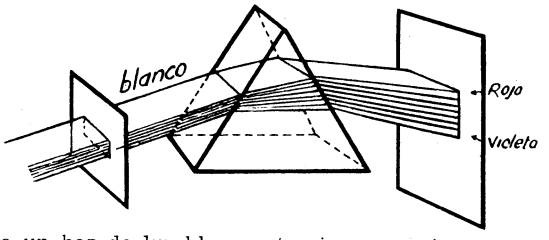
por el prisma se desplaza más o menos según su posición. Mientras una raya luminosa permanece invariable (la de la luz que llega a la pantalla directamente), la otra se acerca primeramente y se separa después, tras de haber alcanzado una posición que corresponde a la mínima desviación de la luz.

Se demuestra teóricamente y se comprueba en esta experiencia que *la mínima desviación de la luz se consigue cuando el rayo luminoso en su recorrido por el interior del prisma, se encuentra igualmente inclinado sobre las dos caras del mismo.*

Dispersión de la luz por los prismas. — En el estudio que hemos hecho anteriormente de los prismas, hemos supuesto que la luz que los atraviesa es monocromática, es decir, constituida por una sola clase de radiaciones.

El índice de refracción de un medio no es igual para las distintas radiaciones luminosas, sino que depende de su longitud de onda. En consecuencia, *la desviación de un rayo luminoso por un prisma depende no sólo de las condiciones antes expuestas, sino también de la longitud de onda de la luz, es decir, de su color.*

Recibamos un haz de rayos solares paralelos procedentes de una rendija estrecha sobre un prisma de vidrio paralelamente a su arista. En una



Cuando un haz de luz blanca atraviesa un prisma, se dispersa en los siete colores del arco iris.

pantalla situada al otro lado del prisma se verá que en lugar de un trazado blanco se forma una faja coloreada con los colores del arco iris. Estos colores, dispuestos paralelamente a la arista del prisma, van desde el rojo, que es el menos desviado, hasta el violeta, que es el color que más se desvía.

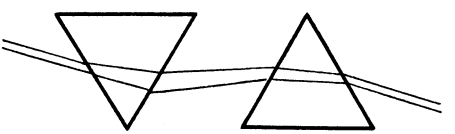
Esta experiencia demuestra que en la luz blanca del sol están reunidos rayos de diferentes colores, que el prisma separa. Cuando estos rayos los recibimos conjuntamente sobre nuestra retina, nos producen la sensación de luz blanca.

El fenómeno de la separación de los rayos de diferentes colores, que constituyen un haz luminoso por medio de un prisma recibe el nombre de *dispersión de la luz.*

La imagen coloreada obtenida recibe el nombre de *espectro luminoso.* El espectro que hemos obtenido anteriormente es el *espectro solar.*

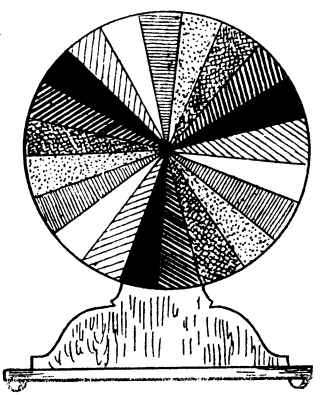
Cuando la luz que recibe el prisma no es luz solar, el espectro obtenido puede tener o no los colores del arco iris. En cada caso tiene los colores de los rayos que componían la luz incidente.

Síntesis de la luz blanca. — Si se logra reunir de nuevo las luces simples obtenidas por dispersión de la luz solar, se obtiene un haz de luz blanca.



La dispersión producida por el primer prisma es compensada por el segundo, y la luz, al salir de éste, es blanca nuevamente.

Esto se consigue de varios modos, uno de los cuales consiste en colocar a continuación de un prisma de dispersión otro igual a él, pero colocado en posición inversa. El efecto producido por el primero es anulado por el



Disco de Newton. Al girar rápidamente, los siete colores elementales con que están pintados los sectores del mismo se superponen en nuestra retina y nos parece como si fuese de color blanco.

segundo, de forma que la luz, después de atravesar ambos prismas, es de nuevo blanca como antes de atravesarlos.

Puede también observarse el efecto de la composición de los siete colores del arco iris tomando un disco dividido en veintiún sectores, sobre los que se pintan sucesivamente los siete colores del arco iris, con una extensión aproximada a la que tienen relativamente en el espectro solar. Cuando este disco gira rápidamente ante nosotros nos parece que está pintado de blanco.

Ejercicios

Enunciar las leyes de la refracción de la luz y explicar su significado.

Decir en qué consiste el fenómeno de reflexión total y explicar cómo se produce ¿Qué es el ángulo límite y qué relación guarda con el índice de refracción?

¿Qué es un prisma óptico? Dibujar la marcha de un rayo luminoso que atraviesa un prisma óptico.

¿De qué circunstancias depende la desviación que sufre un rayo luminoso cuando atraviesa un prisma?

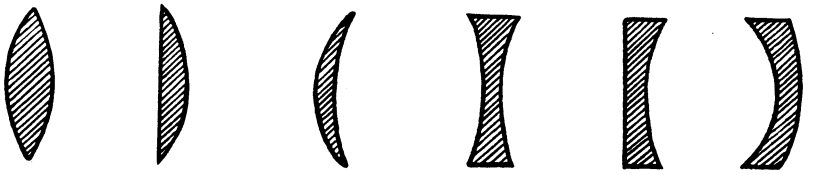
Explíquese por qué se produce la dispersión de la luz blanca cuando atraviesa un prisma óptico. ¿En qué consiste la síntesis de la luz blanca?

19. LENTES

Lentes esféricas. Sus clases. — *Reciben el nombre de lentes los medios transparentes limitados por una parte por una superficie curva y por otra por una superficie curva o por una superficie plana.*

Cuando las superficies curvas que limitan una lente son esféricas, las lentes reciben el nombre de *lentes esféricas.*

Las lentes esféricas pueden ser de dos clases: *convergentes y divergentes.* Las primeras son más gruesas en el centro que en los bordes y reciben



Biconvexa . *Planoconvexa* *Concavoconvexa* *Bicóncava* *Planocóncava* *Convexocóncava*

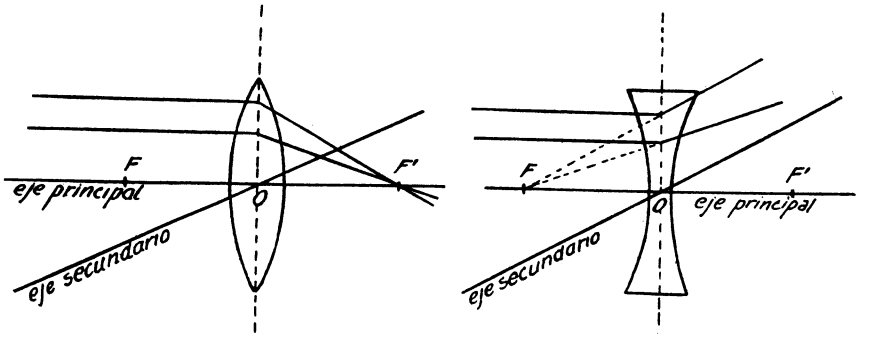
este nombre porque los rayos que llegan a ellas paralelos tienden a reunirse al atravesarlas. Las segundas son más delgadas en el centro que en los bordes, y reciben este nombre porque, al contrario de las convergentes, tienden a separar los rayos que llegan a ellas paralelos cuando las atraviesan.

Cada una de las dos clases está constituida por tres tipos de lentes. Las convergentes se denominan *biconvexa, planoconvexa* y *concavoconvexa.* Las divergentes, *bicóncava, planocóncava* y *convexocóncava.*

Elementos de una lente. —Se llama *eje principal* de una lente (sea cóncava o convexa) la línea recta indefinida que une los centros de curvatura de sus caras. Se llama *sección principal* de la lente la producida por un plano que pasa por su eje principal.

Se llama *centro óptico* de la lente a un punto de su eje principal, que tiene la propiedad de que los rayos que la atraviesan pasando por él no sufren desviación; solamente sufren un desplazamiento, como cuando un rayo de luz atraviesa una lámina de caras paralelas.

Recibe el nombre de *foco principal* de una lente convergente un punto de su eje principal donde se reúnen todos los rayos que llegan a ella paralelos a dicho eje, después de atravesarla.



Sección principal de una lente convergente (izquierda) y divergente (derecha) y elementos de las mismas.

En las lentes divergentes hemos dicho que los rayos que llegan paralelos se separan o divergen después de atravesarlas. En este caso, el *foco principal* de la lente es un punto del eje principal donde se reúnen las prolongaciones de los rayos que llegan a la lente paralelos a dicho eje, después de atravesarla.

Como los rayos pueden llegar a la lente por ambos lados, habrá dos focos principales, situados a igual distancia de la lente, uno a cada lado, sobre el eje principal.

Para situar aproximadamente la posición de los focos principales en una lente convergente basta hacer incidir sobre ella, en la dirección del eje principal, un haz de rayos paralelos procedentes del Sol. Colocando al otro lado de la lente una pantalla, y retirándola o acercándola con cuidado, encontraremos, por tanteo, una posición en la cual veremos los rayos luminosos reunirse en un punto. Éste es uno de los focos principales de la lente. El otro se encuentra al otro lado de ella, a igual distancia que el primero.

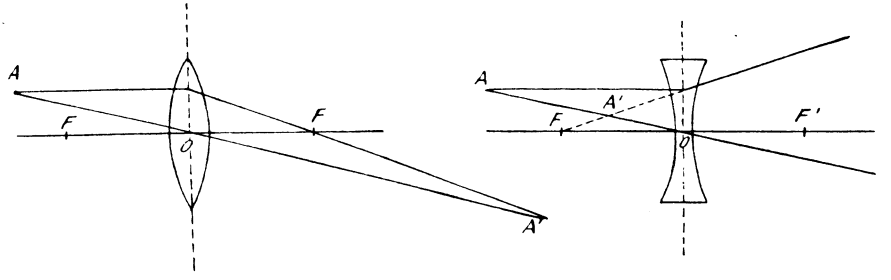
En las lentes divergentes no es posible reunir los rayos que lleguen a ella paralelos entre sí, ya que la lente, precisamente por ser divergente. los hará salir separados.

Imagen de un punto. Su determinación geométrica. — *Se llama imagen real de un punto a otro punto donde se encuentran los rayos luminosos que partiendo del primero atraviesan la lente.*

Cuando los rayos luminosos, después de atravesar la lente, salen divergentes sus prolongaciones en sentido contrario al de propagación de la luz se reúnen también en un punto, el cual se llama *imagen virtual* del primero.

En el primer caso, colocando en el punto donde se han de reunir los rayos luminosos una pantalla, sobre ella se señala un punto brillante, que es la imagen formada. *Las imágenes reales pueden recogerse sobre una pantalla.*

En el segundo caso no será posible recoger sobre una pantalla la imagen, ya que ésta se forma no por la unión de rayos reales, sino por la de sus prolongaciones. En cambio, si nos situamos de forma que lleguen a



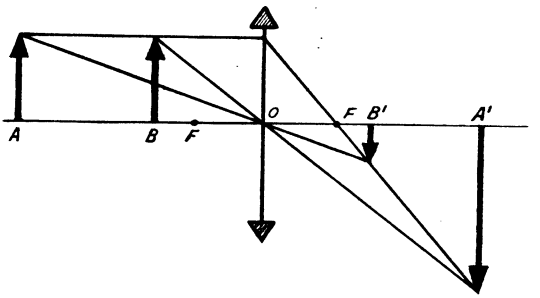
La imagen de un punto en una lente es el punto donde se reúnen los rayos que parten de él después de atravesar la lente (izquierda) o el punto donde se reúnen sus prolongaciones en sentido contrario a la propagación de la luz, cuando salen divergentes (derecha).

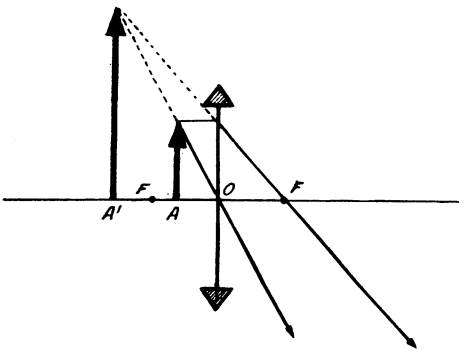
nuestro ojo algunos de los rayos que atraviesan la lente, nos parecerá que proceden de un punto situado en la prolongación de los rayos que recibimos. Este punto es la imagen virtual. *Las imágenes virtuales no pueden recogerse sobre una pantalla, pero pueden ser observadas directamente.*

Para determinar geométricamente la imagen de un punto, es necesario determinar la marcha de algunos de los rayos que parten de él, y donde se reúnan éstos, después de atravesar la lente o donde se reúnan sus prolongaciones, si es que salen divergentes, allí estará la imagen buscada.

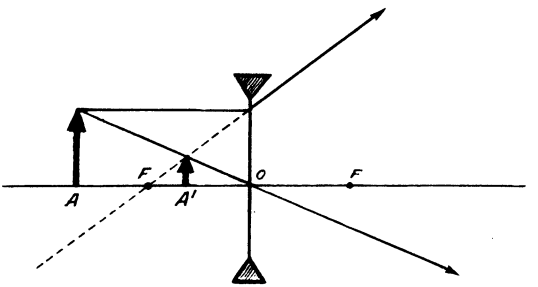
En realidad, sólo es necesario determinar la marcha de dos rayos, pues la teoría demuestra, que donde se reúnen dos rayos también se reúnen todos los demás.

Esta circunstancia nos permite determinar geométricamente la imagen de un punto fácilmente. En efecto: de todos los rayos luminosos que llegan a la lente procedentes del punto luminoso, hay dos cuya marcha podemos determinar fácilmente. Éstos son: el rayo que pasa por el centro óptico de la lente, que no se desvía, y el rayo que llega a la lente paralelo al eje principal, el cual atravesará la lente pasando por el foco de la misma. El punto donde se reúnen estos dos rayos después de atravesar la lente será la imagen del punto luminoso. Si estos dos rayos, después de atravesar la lente salen divergentes, la imagen será virtual y se encontrará en donde se reunan sus prolongaciones, en sentido opuesto al de la propagación de la luz.





La imagen de un objeto se determina por puntos, hallando la imagen de tantos puntos como sean



Las lentes convergentes dan de los objetos situados más allá del foco imágenes reales e invertidas, y de los situados entre el foco y la lente, imágenes virtuales y derechas. Las lentes divergentes dan siempre imágenes virtuales y derechas

necesarios para determinar la forma, posición y tamaño de la imagen.

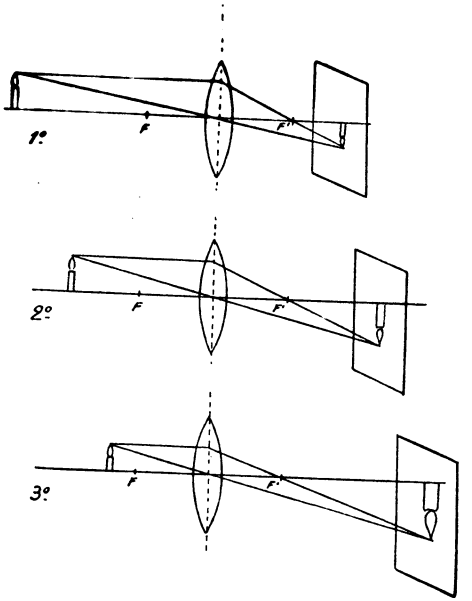
Generalmente, en Física, los cuerpos cuya imagen se trata de determinar son segmentos de recta situados perpendicularmente al eje principal de la lente. De esta manera, para determinar la imagen, basta con hacerlo con el extremo del mismo no situado sobre el eje. Una vez determinada esta imagen, la imagen del segmento se halla formada por el segmento de recta perpendicular al eje principal comprendido entre dicho punto imagen y el mencionado eje principal.

Estudio experimental de las imágenes producidas en las lentes convergentes. — El estudio experimental de las imágenes dadas por las lentes convergentes se hace mediante el *banco de óptica.*

Consta este aparato de una tabla de madera que sirve de base de sustentación de una regla graduada en centímetros, sobre la cual pueden deslizarse unos cursores, que llevan tornillos de fijación. Sobre ellos se pueden colocar a altura conveniente lentes, pantallas u objetos luminosos.

Coloquemos sobre el banco de óptica una lente convergente, situada entre un objeto luminoso (por ejemplo, una vela encendida) y una pantalla, de forma que los rayos luminosos puedan atravesar la lente y llegar después a la pantalla.

Una vez situado el objeto luminoso a cierta distancia de la lente, su imagen se buscará colocando la pantalla inmediatamente detrás de la lente y alejándola poco a poco, hasta conseguir que se dibuje sobre ella claramente.



A medida que el objeto se acerca a la lente desde el infinito, la imagen se separa y se agranda.

Operando de esta manera llegaríamos a los siguientes resultados:

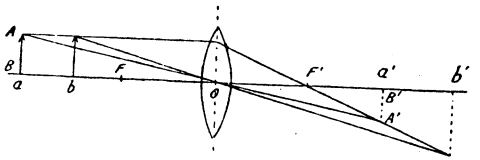
1.º Cuando el objeto está a una distancia mayor del doble de la focal, la imagen es real, invertida y menor que el objeto. Es tanto menor y más próxima al foco cuanto más alejado está el objeto.

2.º Aproximando al objeto a la lente la imagen se separa.

3.º Cuando el objeto se encuentra entre el foco y una distancia doble de la focal, la imagen es mayor que el objeto, real e invertida. Es tanto mayor y más alejada de la lente cuanto más próximo al foco se encuentra el objeto.

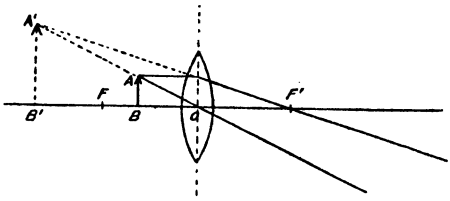
4.º Cuando el objeto se encuentra entre el foco y la lente, la imagen no se puede recoger sobre una pantalla; en cambio, la veremos a través de la lente: La imagen es virtual, derecha y mayor.

Determinación geométrica de la imagen de un objeto en una lente convergente. — *La determinación geométrica de la imagen de un objeto se reduce, según hemos dicho, a la determinación de la imagen de algunos de sus puntos.*



Sea el objeto la recta *AB*. A partir del punto *A* se trazan dos rayos (de los infinitos que partirán de él), cuya marcha conocemos: el que incide sobre la lente paralelo al eje principal, *AI*, y el que atraviesa la lente por su centro óptico, *AO*. El primero, después de atravesar la lente, pasará por su foco siguiendo la trayectoria *IF*. El segundo sigue su marcha sin desviarse. El punto *A'* donde se encuentran estos dos rayos es la imagen de *A* y la imagen del objeto *AB* será, por consiguiente, *A'B'*.

Cuando el objeto se encuentra en *b*, repitiendo la construcción se encuentra la imagen en *b'*, y a medida que se acerca al objeto, la imagen se va separando y se obtienen los mismos resultados que se obtienen experimentalmente.



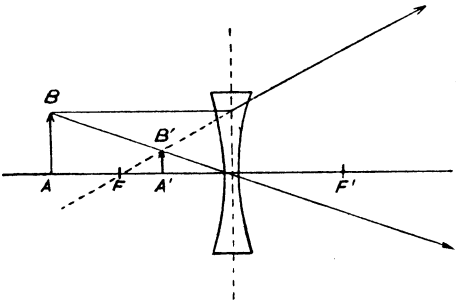
Si el objeto se encuentra entre el foco y la lente, al trazar a partir de A el rayo paralelo al eje principal que se desvía pasando por el foco y el que pasa por el centro óptico de la lente, que no se desvía, observaremos que no se encuentran, sino que salen divergentes. En cambio, sus prolongaciones en sentido contrario a la propagación de la luz se encuentran en A' y la imagen de AB se encuentra en $A'B'$, siendo, como ya habíamos dicho, virtual, derecha y mayor que el objeto.

Imágenes producidas por las lentes divergentes. — Si en el banco de óptica tratamos de estudiar las imágenes dadas por una lente divergente, nos encontraremos que cualquiera que sea la posición del objeto luminoso con relación a la lente, no será posible recoger ninguna imagen sobre la pantalla. En cambio, en todos los casos, situándonos nosotros en el lugar de la pantalla, veremos a través de la lente una imagen del objeto luminoso más pequeña en tamaño y derecha con relación a él.

Una lente divergente da de un objeto luminoso una imagen virtual, derecha y menor, situada entre el objeto y la lente.

Determinación geométrica de la imagen de un objeto en una lente divergente. — La construcción se hace como en los casos anteriores, recurriendo a dos rayos luminosos cuya marcha conocemos.

Si el objeto luminoso es el AB, trazamos desde B el rayo paralelo al eje principal, que al atravesar la lente se desviará tomando una dirección tal que su prolongación pasa por el foco de la lente del mismo lado de donde viene la luz. Trazamos también el rayo BO, que no se desvía por



pasar por el centro óptico de la lente. Donde se encuentran las prolongaciones de ambos B' se encuentra la imagen de B, y la imagen del objeto AB, se encuentra, por tanto, en $A'B'$.

De esta construcción resulta que las imágenes son virtuales, derechas y menores que el objeto.

Aberración de esfericidad y aberración cromática. — En las lentes gruesas, los rayos que inciden paralelos al eje principal no se reúnen realmente en un punto. Los rayos que atraviesan la lente cerca del eje principal se encuentran a mayor distancia de la lente que los que la atraviesan por los bordes. Los rayos no se reúnen, por tanto, en él foco de la lente, sino que se apoyan en una superficie llamada *cáustica de refracción,* y no se reúnen en un punto, sino que se concentran en un pequeño volumen.

Este fenómeno se llama *aberración de esfericidad.*

La aberración de esfericidad es causa de que las imágenes obtenidas en las lentes gruesas no sean claras.

Este inconveniente no lo tienen las lentes delgadas, por lo que todo lo que se ha dicho puede aplicarse perfectamente a ellas, mientras que sólo es aproximado cuando se refiere a las lentes gruesas.

Si con una lente gruesa se quiere obtener la imagen de un objeto iluminado con luz blanca, observaremos que la imagen formada no tiene los contornos netos, sino irisados con los colores del arco iris. Esto es debido a que no se desvían igualmente los rayos de los diferentes colores, obteniéndose en realidad tantas imágenes como luces simples emite el cuerpo luminoso, todas las cuales vienen a superponerse en un reducido espacio.

Este fenómeno recibe el nombre de *aberración cromática.*

Tanto la aberración de esfericidad como la aberración cromática, tienen extraordinario interés en la construcción de lentes para aparatos de óptica, como microscopios, cámaras fotográficas y otros. Se evitan usando asociaciones de lentes delgadas de diferentes sustancias, que permiten obtener imágenes de gran perfección.

Ejercicios

Dígase lo que se entiende por lente esférica y cuáles son sus clases.

¿Cuáles son los elementos de una lente? ¿Cuáles son los rayos luminosos cuya marcha se conoce de antemano cuando atraviesan una lente? ¿Cómo se determina la imagen de un punto en una lente esférica?

Determinar geométricamente la imagen de un objeto en una lente convergente y comprobar cómo se modifica en posición y tamaño al variar la distancia del objeto a la lente desde el infinito hasta el foco.

Hacer lo mismo cuando se trata de una lente divergente.

¿En qué consiste la aberración cromática y en qué la aberración de esfericidad? ¿Cuál es la causa de una y otra? ¿Cómo se corrigen las aberraciones en los aparatos de óptica.

20. MAGNETISMO

Magnetismo. Imanes. — Desde muy antiguo es conocido un mineral llamado magnetita o piedra imán, que tiene la propiedad de atraer al hierro.

Si frotamos una barra de acero con un trozo de magnetita, haciéndolo siempre en el mismo sentido, observaremos que también aquélla adquiere la propiedad de atraer el hierro.

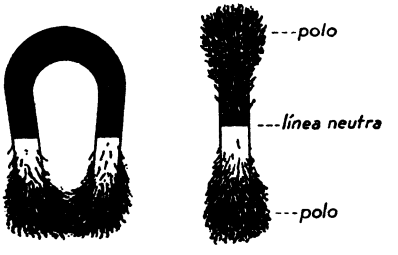
Recibe el nombre de magnetismo la propiedad de atraer al hierro que posee naturalmente la magnetita, y que puede adquirir artificialmente una barra de acero. Los cuerpos que están dotados de magnetismo reciben el nombre de imanes.

Los imanes pueden ser, por tanto, naturales, como la magnetita, y artificiales como una barra de acero imantada.

Polos y zona neutra. — Introduzcamos un trozo de magnetita entre limaduras de hierro. Al sacarlo observaremos que éstas quedan adheridas a la magnetita de un modo completamente irregular agrupándose en determinados puntos, arbitrariamente repartidos sobre la superficie del mineral. Esto prueba que en la magnetita el magnetismo está repartido de manera desigual y arbitraria.

Hagamos la misma experiencia con una barra de acero imantado y observaremos que el resultado es completamente diferente. Las limaduras se adhieren preferentemente hacia los extremos de la barra, donde parece concentrarse el magnetismo, mientras que no lo hacen en la parte media.

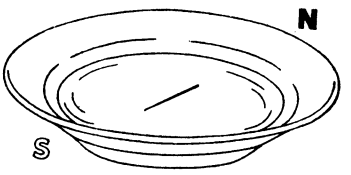
Se llama zona neutra de una barra imantada a la parte media de la



Las partes extremas del imán donde se adhieren las limaduras de hierro se llaman polos del imán. La línea intermedia que separa ambas zonas se llama línea neutra.

misma donde no se manifiesta atracción sobre las limaduras de hierro. *Reciben el nombre de polos del imán los extremos donde se manifiesta la atracción con mayor intensidad.*

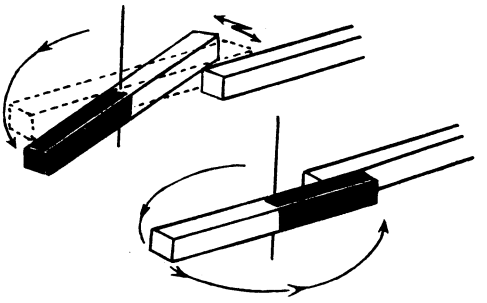
Acciones recíprocas entre polos magnéticos. — Tomemos una barra imantada y suspendámosla de su punto medio mediante un hilo. Abandonándola libremente observaremos que después de varias oscilaciones queda orien-



Cuando una aguja imantada puede orientarse libremente, lo hace en la dirección Norte-Sur.

tada en la dirección norte-sur terrestre. Esta orientación es siempre la misma, cualquiera que sea la posición inicial de la barra y prueba que los polos del imán no son idénticos, ya que uno se dirige siempre hacia el norte, mientras el otro se dirige siempre hacia el sur y no indistintamente. *El polo del imán que se dirige hacia el norte terrestre recibe el nombre de polo norte del imán, y el opuesto polo sur.*

Si estando en reposo la barra imantada del experimento anterior le acercamos otra barra imantada de modo que sus polos norte queden frente



Los polos de igual nombre se repelen y los de distinto nombre se atraen.

a frente, observaremos que se repelen mutuamente, pero si quedan frente a frente un polo sur y un polo norte, se observará que se atraen.

Este resultado nos indica que *los polos magnéticos del mismo nombre se repelen y los de distinto nombre se atraen.*

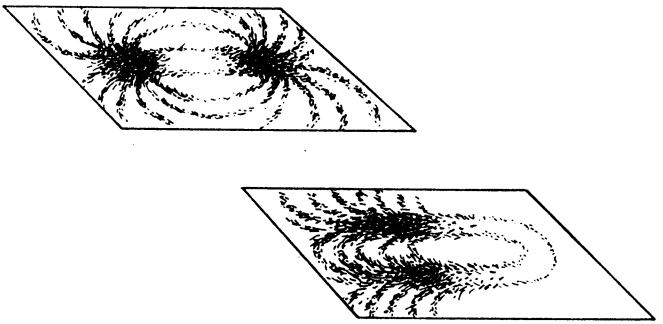
Campo magnético. Líneas de fuerza. — Tomemos nuevamente el imán que nos ha servido en las experiencias anteriores suspendido de su parte media por un hilo, y esperemos que quede en reposo. Acerquémosle otro imán, y observaremos que cualquiera que sea el camino por el que se lo

acerquemos al llegar a cierta distancia el primero acusa la presencia del otro. Se deduce, pues, que la fuerza atractiva de un imán no se ejerce más allá de cierto límite.

Se llama campo magnético de un imán el conjunto de todos los puntos del espacio a su alrededor donde se deja sentir su influencia o acción.

El campo magnético puede materializarse colocando sobre el imán una cartulina sobre la que se espolvorean limaduras de hierro. Éstas se orientan según ciertas líneas que partiendo de un polo del imán se dirigen hacia el otro. La figura que forman las limaduras de hierro sobre la cartulina constituye un *espectro magnético*, y nos da una idea de cómo es el campo magnético existente alrededor del imán.

Supongamos que fuese posible aislar un polo magnético norte y colocarlo sobre el polo de igual nombre de un imán. Sería repelido por éste y atraído por el polo sur, de forma que se desplazaría de uno a otro siguiendo precisamente una de aquellas líneas según las que se orientaron las limaduras de hierro en el espectro magnético.

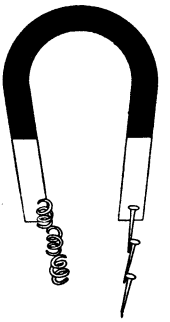


Colocando sobre un imán una cartulina y espolvoreando sobre ella limaduras de hierro, se forma un espectro magnético.

Se denominan líneas de fuerza cada uno de los caminos que podría seguir un polo norte aislado al desplazarse desde el polo norte al polo sur de un imán. Éstas quedan materializadas en el espectro magnético por las líneas según las cuales se disponen las limaduras de hierro.

Las líneas de fuerza salen por el polo norte y entran por el polo sur.

Inducción magnética. — Toquemos con un polo de un imán el extremo de una barrita de hierro dulce. Observaremos que por este solo hecho adquiere la propiedad de atraer limaduras de hierro, quedando convertida en un imán por influencia del primero.



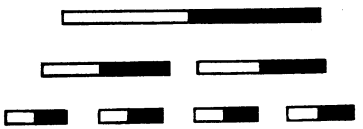
Un alfiler de hierro en contacto con un imán adquiere propiedades magnéticas. A esto se llama magnetismo inducido.

Cuando se separan el imán y la barrita de hierro dulce, ésta pierde su imantación; es decir, que el hierro dulce sólo adquiere el magnetismo temporalmente.

Si la experiencia se hace con una barrita de acero, ésta queda imantada, pero el magnetismo se conserva aún después de separada del imán, lo que indica que el acero adquiere el magnetismo de forma permanente.

La comunicación de magnetismo al hierro y al acero por influencia de otro imán recibe el nombre de inducción magnética.

Experiencia del imán roto. Constitución de los imanes. — Imantemos una aguja de acero de las que se usan para hacer media. Si la partimos por la mitad observaremos que cada una de las mitades se ha convertido en un imán completo, con sus correspondientes polo norte y sur. Lo mismo

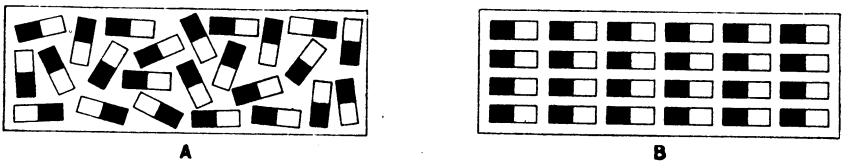


Cuando se corta un imán en dos trozos, cada uno de ellos queda convertido en un imán con sus dos polos.

ocurrirá cada vez que cortemos uno de los imanes obtenidos. Si los imanes obtenidos se unen de nuevo adaptando a cada polo norte el polo sur del imán siguiente, formando con todos una barra única, se observa que todos los polos magnéticos intermedios desaparecen y permanecen solamente los polos norte y sur de los extremos.

Esta experiencia se explica admitiendo que *los imanes están constituidos por infinidad de pequeños imanes, ordenados todos de forma que el polo norte de cada uno está en contacto con el sur del siguiente,* quedando tan sólo de manifiesto en todo el imán un polo norte en un extremo y un polo sur en el extremo opuesto.

Estos imanes elementales existen ya en el hierro y en el acero (realmente



Cada molécula de una barra de hierro es realmente un imán y cuando se orientan todas en el mismo sentido, la barra queda convertida en un imán.

estos imanes no son sino las propias moléculas de hierro), pero desordenados, de modo que mutuamente neutralizan sus polos sin manifestar, por esta causa, ninguna acción magnética. Cuando por la acción de un campo magnético exterior, estos imanes elementales se orientan, se suman los efectos de todos los imanes y se deja sentir así el efecto de todo el conjunto.

En el caso del hierro dulce, los imanes elementales se desorientan de nuevo al cesar la acción orientadora del campo magnético, exterior, mientras que en el caso del acero esta orientación es permanente.

Magnetismo terrestre. Brújula. — El hecho de que un imán que puede girar alrededor de un eje vertical se oriente en la dirección norte-sur de la tierra, indica claramente que ésta actúa como si fuese un gran imán, cuyos polos sur y norte coincidirán aproximadamente con los polos norte y sur geográficos. Por esta razón se dice que la tierra posee magnetismo.

El magnetismo terrestre es, pues, la causa de la orientación de los imanes cuando pueden girar alrededor de un eje vertical.

Una aguja imantada que puede girar sobre un eje vertical constituye una brújula. A la derecha, una brújula de bolsillo para orientarse en todas ocasiones.

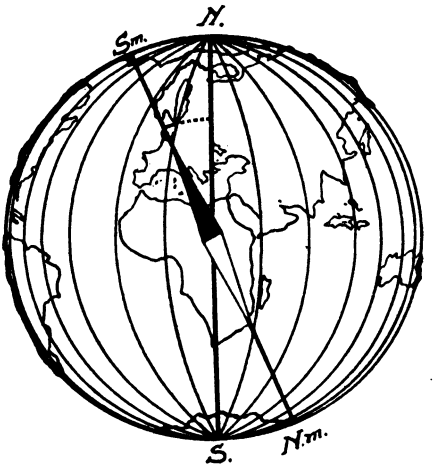
La propiedad de los imanes de orientarse en la dirección norte-sur de la tierra, ha permitido usarlos desde hace cientos de años para la orientación de los navegantes, usando para ello imanes especialmente adaptados, llamados brújulas.

Una brújula no es más que una aguja imantada que descansa sobre un pivote, alrededor del cual puede girar libremente en un plano horizontal.

Para que no quepa confusión, se pinta de azul la punta que mira al norte.

El pivote suele ocupar el centro de un círculo graduado en el que están trazadas dos rectas perpendiculares, marcadas en sus extremos con las iniciales de los cuatro puntos cardinales: N, S, E, O, y las líneas intermedias, que con aquéllas marcan los treinta y dos rumbos que forman la rosa de los vientos.

Declinación magnética. — Realmente la dirección que señala la brújula no coincide, la mayoría de las veces, con la dirección norte-sur geográfica. Por el contrario, ambas direcciones forman un pequeño ángulo que



El ángulo que forma la dirección en que se orienta la brújula con la dirección Norte-Sur geográfica se llama ángulo de declinación magnética.

varía de unos puntos a otros. *El ángulo que en cada punto de la superficie terrestre forma la dirección norte-sur geográfica con la dirección señalada por la brújula, recibe el nombre de declinación magnética del lugar.*

Ejercicios

¿Qué son imanes? ¿Qué es la zona neutra y los polos de un imán?

¿Qué es el campo magnético de un imán y cómo se pone de manifiesto? ¿A qué se llaman líneas de fuerza de un campo magnético?

¿En qué consiste el fenómeno de inducción magnética?

¿Cómo están constituidos los imanes? ¿En qué consiste la experiencia del imán roto?

¿Qué es una brújula? ¿Por qué se orienta una brújula en la dirección Norte-Sur? ¿A qué se llama declinación magnética?

21. ELECTROSTÁTICA

Electricidad. Electrización por frotamiento. — Si se frota una barra de vidrio con un paño de lana, una tela de seda o una piel de gato, se observa que adquiere la propiedad de atraer los cuerpos ligeros, como barbas de pluma o pedacitos de papel.

Esta propiedad la poseen igualmente otros cuerpos, como el lacre, la ebonita, el azufre y el ámbar amarillo, y es debida a cierta forma de energía que se desarrolla en ellos al frotarlos. Tal energía recibe el nombre de electricidad, por haberse observado por primera vez en el ámbar amarillo, cuerpo que en griego recibe el nombre de *elèctrón.*

La electricidad es una forma de energía que reside en los cuerpos y que es causa de muchos fenómenos, entre otros las atracciones eléctricas.

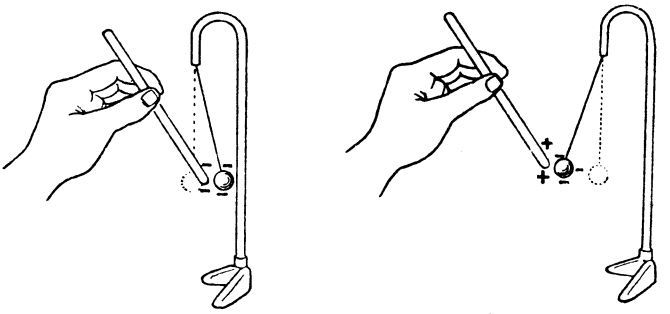
La forma de cargar de electricidad un cuerpo mediante un fuerte roce o frotamiento con otro, recibe el nombre de *electrización por frotamiento.*

Electrización por contacto. Repulsiones eléctricas. — La atracción de los cuerpos electrizados sobre los cuerpos ligeros se observa perfectamente con un sencillo aparato llamado péndulo eléctrico.

El *péndulo eléctrico* consiste en una pequeña esferita de médula de saúco suspendida de un soporte mediante un hilo de seda.

Si acercamos al pendulillo eléctrico una barra de vidrio electrizada por frotamiento, se observa que atrae a la esferita separándola de su posición de equilibrio. Ahora bien, cuando la esferita llega a tocar la barra de vidrio, inmediatamente es repelida con fuerza. Si repetimos la experiencia con barras de lacre, ebonita, etc., obtendremos el mismo resultado.

Cualquier cuerpo electrizado atrae al pendulillo eléctrico pero lo repelerá desde el momento en que ambos se pongan en contacto.



Electricidades del mismo nombre se repelen y de distinto nombre se atraen.

Este fenómeno se explica porque en un principio el pendulillo eléctrico no está electrizado, sino en estado neutro, pero al ponerse en contacto con el cuerpo electrizado, toma de él una parte de la electricidad que contiene, quedando a su vez electrizado y siendo desde ese momento repelido por el cuerpo del que tomó la electricidad.

La forma de electrizar un cuerpo por contacto directo con otro ya electrizado se llama *electrización por contacto.*

Clases de electricidad. Sentido de las atracciones eléctricas. — Si al pendulillo previamente electrizado por contacto con una barra de vidrio, se acerca a una barra de resina también electrizada, notaremos que le atrae fuertemente, mientras era repelido por el vidrio.

Por otra parte, si acercamos al pendulillo electrizado por contacto con la resina (que será repelido por ésta) una barra de vidrio, se observa que lo atrae con fuerza. Es decir, que el vidrio atrae al pendulillo que era rechazado por la resina y viceversa.

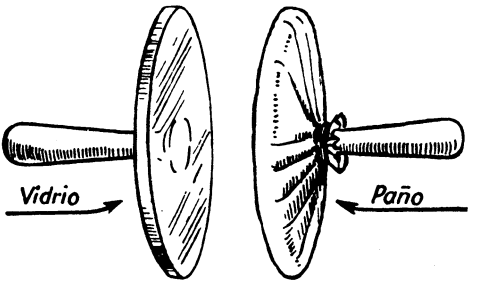
Existen, pues, dos clases de electricidad: una, la que se desarrolla en el vidrio, llamada vítrea o positiva, y otra, la desarrollada en el lacre o la resina, llamada resinosa o negativa.

En cuanto al sentido de las acciones eléctricas se deduce que: *Dos cuerpos cargados con electricidad del mismo nombre se repelen y dos cuerpos cargados con electricidad de distinto nombre se atraen.*

Desarrollo simultáneo de ambas clases de electricidad. — Las experiencias que venimos efectuando demuestran que las barras de vidrio, lacre, etcétera, cuando se frotan con un paño de lana, quedan electrizadas. Pero, ¿el paño que sufre el mismo frotamiento, se electriza? La experiencia demuestra que así es en efecto. El pendulillo eléctrico revela la existen-

cia en el paño de lana de electricidad de nombre contrario a la desarrollada en la barra que se ha frotado con él.

Más claramente se observa este fenómeno frotando dos discos provistos de mangos de madera: uno de los discos de vidrio y el otro de madera recubierto de lana. Acercándolos sucesivamente al pendulillo eléctrico previamente electrizado, sucede que si el uno le atrae, el otro le repele. Si se acercan al pendulillo ambos discos simultáneamente y manteniéndolos a poca distancia uno de otro, no se nota atracción ni repulsión.



Dos discos, uno de vidrio y otro recubierto de un paño de lana, se electrizan con electricidades opuestas cuando se frotan mutuamente.

Por tanto: *Cuando dos cuerpos se frotan, se desarrolla en ellos electricidad de diferente nombre y en cantidades equivalentes.*

De la experiencia anterior se deduce que la electricidad existe en los cuerpos, aunque se encuentran las dos clases y en igual cantidad, por lo que normalmente aparecen en estado neutro. Cuando se frotan, la electricidad negativa pasa con preferencia a uno de los cuerpos, mientras que el otro queda con defecto de electricidad negativa, o lo que es igual, cargando con electricidad positiva.

Noción de masa eléctrica. Unidad de masa eléctrica. — Cuando se electriza por frotamiento una barra de vidrio y se acerca a un pendulillo eléctrico, notamos la atracción que ejerce sobre él.

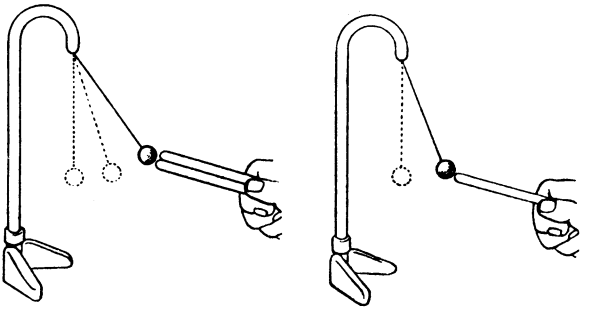
Si electrizamos ahora otra barra también de vidrio y la acercamos al pendulillo juntamente con la primera, observaremos que es atraído con mayor fuerza.

La electricidad es la causa de las atracciones eléctricas, y la atracción es tanto mayor cuanto mayor es la cantidad de electricidad que actúa.

Si se acercan sucesivamente al pendulillo eléctrico dos cuerpos electrizados y uno de ellos le atrae con una fuerza, dos, tres, etc., veces mayor que el otro, se admite que tiene una cantidad de electricidad dos, tres, etc., veces mayor.

La cantidad de electricidad que posee un cuerpo se llama masa eléctrica del mismo.

La masa eléctrica puede medirse comparando su fuerza atractiva con la de otra masa eléctrica que se toma como unidad.



La atracción sobre el pendulillo eléctrico es tanto mayor cuanto mayor es la masa eléctrica acumulada en la barra.

El estudio cuantitativo de las fuerzas de atracción entre masas eléctricas fue realizado por Coulomb. Este físico enunció la siguiente ley conocida con el nombre de Ley de Coulomb.

La fuerza con que se atraen o repelen dos masas eléctricas (según sean de diferente o de igual nombre) es proporcional a ellas y está en razón inversa del cuadrado de la distancia que las separa.

Esta ley se expresa por la fórmula:

$$f = k\frac{qq'}{d^2}$$

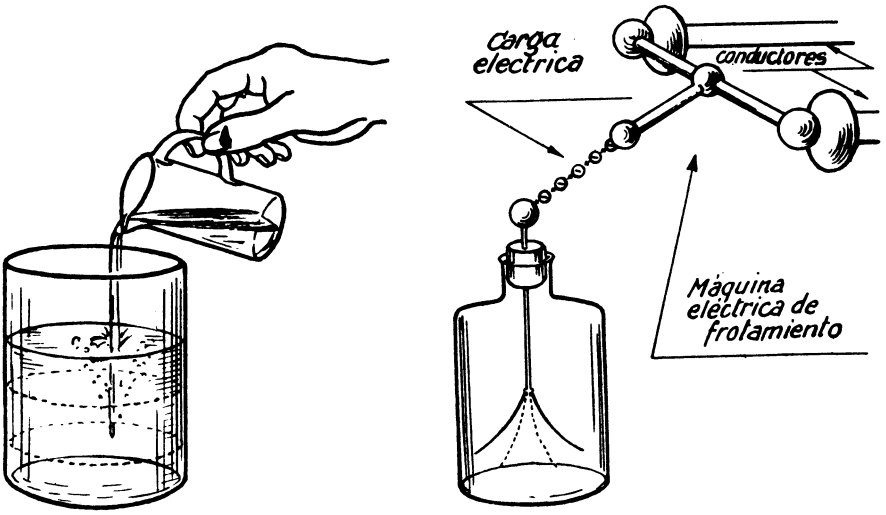
donde q y q' son las masas eléctricas en presencia, d la distancia entre ellas, f la fuerza con que se atraen o repelen y k una constante que depende del medio en que tiene lugar la acción.

La unidad empleada para medir masas eléctricas recibe el nombre de *culombio*. La definición se hará más adelante.

Potencial eléctrico. Diferencia de potencial. — Lo mismo que cuando se comunica calor a un cuerpo su temperatura sube y de la misma manera que cuando se vierte agua dentro de una vasija su nivel aumenta a medida que es mayor la cantidad vertida, cuando se le comunica electricidad a un cuerpo, aquélla alcanza en él un nivel eléctrico o *potencial* tanto mayor cuanto mayor es la cantidad de electricidad comunicada.

Existe la misma relación entre la cantidad de electricidad que tiene un cuerpo y su potencial eléctrico, que entre el calor comunicado a un cuerpo y su temperatura, y la misma que entre la cantidad de agua contenida en una vasija y el nivel alcanzado por ella.

El potencial eléctrico de un cuerpo es el nivel eléctrico o tensión que alcanza la electricidad dentro de él.



Igual que al añadir agua a una vasija aumenta su nivel, cuando se comunica electricidad a un cuerpo aumenta su potencial o tensión eléctrica.

Y de la misma manera que al poner en contacto dos cuerpos uno caliente y otro frío, el primero cede calor al segundo hasta que sus temperaturas se igualan, cuando dos cuerpos electrizados con distinto potencial se ponen en comunicación, el que tiene mayor potencial cede electricidad al que lo tiene más bajo, hasta que sus potenciales se igualan.

Entre dos cuerpos electrizados existe diferencia de potencial cuando, puestos en contacto, uno cede electricidad al otro. La electricidad pasa del cuerpo que tiene mayor potencial al cuerpo de potencial más bajo.

Unidad de diferencia de potencial. — La diferencia de altura entre dos puntos, podría calcularse midiendo el trabajo necesario para elevar de uno a otro un cuerpo de un kilo de peso. En efecto, si al hacerlo se realiza el trabajo de un kilográmetro, es que entre aquellos puntos existe una diferencia de altura de un metro. De igual manera en electricidad, se dice que entre dos puntos existe una diferencia de potencial unidad, cuando al transportar de uno a otro una masa eléctrica unidad se realiza también una unidad de trabajo.

La unidad práctica de potencial eléctrico es el *voltio.*

El voltio es la diferencia de potencial que existe entre dos puntos cuando para pasar de uno a otro la masa eléctrica de un culombio es necesario realizar un trabajo de un julio.

El julio es una unidad de trabajo.

Ejercicios

¿Qué es la electricidad? ¿Cuántas clases de electricidad hay y en qué consisten las acciones entre masas eléctricas de igual o diferente signo? ¿En qué consiste la electricidad por frotamiento y por contacto?

Enúnciese la ley de Coulomb y explíquese su significado, escribiendo la fórmula que la expresa.

Decir qué se entiende por potencial eléctrico. Indicar la relación que existe entre la masa eléctrica acumulada en un cuerpo y el potencial adquirido por éste. ¿Cómo sabríamos si entre dos conductores existe diferencia de potencial?

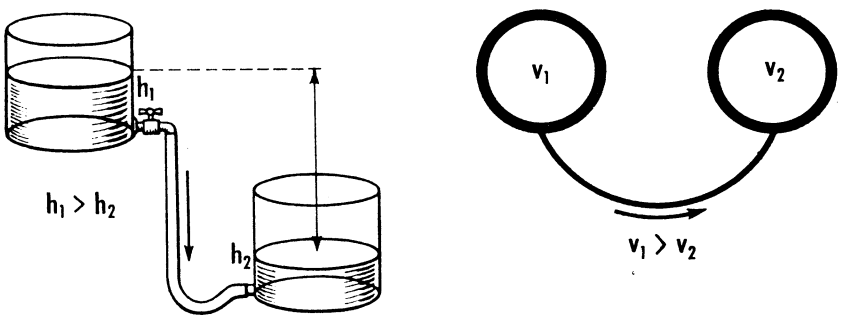
¿Cuándo se dice que entre dos cuerpos electrizados existe una diferencia de potencial de un voltio?

22. CIRCUITO ELÉCTRICO. EFECTOS DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Corriente eléctrica. — Cuando se ponen en comunicación dos cuerpos electrizados a diferente potencial, la electricidad pasa del que tiene mayor potencial al que lo tiene menor.

El paso de electricidad a través de un conductor recibe el nombre de corriente eléctrica.

La corriente eléctrica circula desde los potenciales altos a los bajos. Ahora bien, como según se ha dicho hay dos clases de electricidad, cabe pensar cuál de ellas constituye la corriente o si es que son las dos.



Lo mismo que cuando se ponen en comunicación dos vasijas con agua a distinto nivel pasa ésta de una a otra, cuando se ponen en comunicación mediante un conductor dos cuerpos electrizados a distinto potencial, pasa la electricidad de uno a otro.

La Física moderna enseña que la electricidad positiva se encuentra en los núcleos de los átomos y no puede separarse de ellos. La electricidad negativa está constituida por granitos pequeñísimos de electricidad, llamados *electrones,* que giran alrededor del núcleo en los átomos. Los electrones pueden salir de los átomos y dentro de los metales se pueden mover con facilidad. Normalmente, en un cuerpo cualquiera existe electricidad positiva y negativa en igual cantidad y es eléctricamente neutro. Cuando se electriza negativamente es porque adquiere electrones y cuando lo hace positivamente es porque pierde electrones y queda con cargas positivas en exceso.

La electricidad negativa es, por tanto, la única que puede moverse y pasar de un cuerpo a otro.

La corriente eléctrica es un transporte de electrones a través de un conductor.

Generadores de corriente. — La corriente eléctrica que circula cuando se ponen en comunicación dos cuerpos a diferente potencial, dura tan sólo el tiempo necesario para igualar sus potenciales. Para que durase más tiempo sería necesario que también durase la causa que la origina, es decir, la diferencia de potencial.

Reciben el nombre de generadores eléctricos los aparatos destinados a producir corrientes eléctricas, para lo cual crean y mantienen entre sus bornes una diferencia de potencial.

Si unimos mediante un conductor los bornes o polos del generador, a través de él se produce la corriente eléctrica.

La causa que reside en los generadores, que engendra y mantiene la diferencia de potencial entre sus bornes, recibe el nombre de fuerza electromotriz.

La fuerza electromotriz de un generador se mide por la diferencia de potencial que origina, y por esta causa se usa para su medida la misma unidad que para la diferencia de potencial.

La fuerza electromotriz de un generador se mide en voltios.

Para crear la diferencia de potencial, los generadores eléctricos necesitan consumir energía de una u otra clase. En las centrales eléctricas que proporcionan la corriente que se consume en las ciudades existen grandes generadores que consumen energía mecánica, bien procedente de los saltos de agua (centrales hidroeléctricas) o bien procedente de la combustión del carbón u otros combustibles (centrales térmicas). Estos generadores, llamados *dínamos* y *alternadores* originan tensiones o diferencia de potencial entre sus bornes de muchos voltios, a veces millares de voltios, y ponen en movimiento grandes masas de electricidad.

Otros generadores eléctricos de uso corriente son los *acumuladores* y *pilas*, que consumen energía química. Éstos producen una diferencia de potencial entre sus polos de algunos voltios y ponen en juego cantidades de electricidad mucho más pequeñas.

Intensidad de la corriente eléctrica. — Una corriente de agua de un canal o de un río decimos que es muy intensa cuando transporta gran cantidad de agua en poco tiempo, y decimos que es débil cuando sucede lo contrario. De manera semejante una corriente eléctrica es intensa cuando por una sección del conductor pasa gran cantidad de electricidad en un tiempo pequeño, y es débil cuando sucede lo contrario.

Se llama intensidad de una corriente eléctrica al cociente entre la cantidad de electricidad que pasa por una sección del conductor y el tiempo durante el cual pasa.

Conociendo la masa eléctrica transportada Q, y el tiempo transcurrido t, la intensidad de la corriente viene dada por:

$$I = \frac{Q}{t} \qquad \text{de donde} \qquad Q = I \cdot t$$

La unidad práctica de intensidad de corriente es el *amperio*.

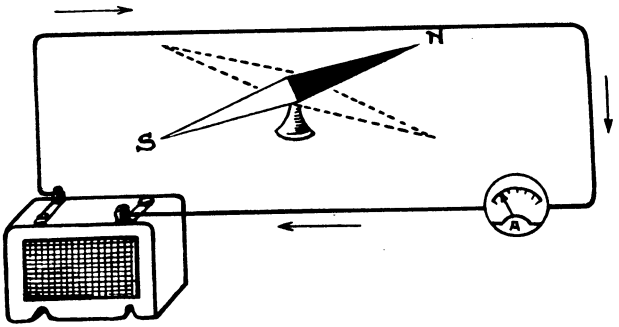
El amperio es la intensidad de una corriente cuando por una sección del conductor pasa un culombio de electricidad en cada segundo de tiempo.

Para medir la intensidad de una corriente se emplean unos aparatos llamados *amperímetros* que se instalan intercalándolos en el conductor de forma que toda la corriente esté obligada a pasar por él. Esta forma de instalar un aparato, de forma que toda la corriente del circuito pase por él, se denomina instalación en serie.

Los amperímetros se instalan en serie.

Circuito eléctrico. — *Recibe el nombre de circuito eléctrico el conductor o conductores que, sin solución de continuidad, unen el polo positivo de un generador con el polo negativo del mismo, a través de los cuales circula la corriente eléctrica.* Cuando el circuito queda roto en un punto, se dice que se ha abierto el circuito y la corriente se interrumpe. Cuando el contacto se restablece, se dice que se ha cerrado el circuito y la corriente circula de nuevo.

Efectos generales de la corriente eléctrica. — Cuando la corriente eléctrica circula por un conductor puede dar lugar a una serie de efectos que revelan el paso de la misma. Estos efectos pueden ser de varias clases apareciendo unos u otros según las condiciones en que se produce la corriente.



Cuando una corriente eléctrica pasa por un conductor situado paralelamente a una aguja imantada, ésta tiende a orientarse en dirección perpendicular al conductor.

Acción de una corriente eléctrica sobre una aguja imantada. — Tomemos una aguja imantada móvil alrededor de un eje vertical y dejémosla libremente tomar la posición norte-sur. Coloquemos entonces sobre ella y en posición paralela un hilo conductor, que conectamos a los bornes de un acumulador, intercalando además en el circuito un interruptor y un amperímetro. Observaremos que mientras por el hilo conductor no pasa corriente, la aguja permanece inmóvil, pero tan pronto como se cierra el circuito, la aguja se desvía de su posición de equilibrio, tomando una posición que forma con la primitiva un determinado ángulo.

Si repetimos la experiencia pero colocamos el hilo conductor por debajo de la aguja, se observará el mismo fenómeno, con la diferencia de que la desviación tiene lugar en sentido contrario.

Esta experiencia demuestra que la corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético, que actúa sobre la aguja imantada. Su acción se superpone a la acción del campo magnético terrestre y determina la desviación de la aguja.

Para saber el sentido de la desviación, se hace uso de la regla de Ampère, que dice:

Colocándose un observador echado sobre la corriente, de cara hacia la aguja imantada, de forma que la corriente circule de pies a cabeza, verá desplazarse el polo norte del imán hacia su izquierda.

Campo magnético creado por una corriente rectilínea. — Para conocer el campo magnético creado por una corriente rectilínea, dispongamos un hilo conductor vertical que atraviese por su punto medio una cartulina situada horizontalmente. Los extremos del hilo se conectan con los polos de un potente generador eléctrico, o con una batería de acumuladores, de forma que por él circule una corriente muy intensa. Si espolvoreamos

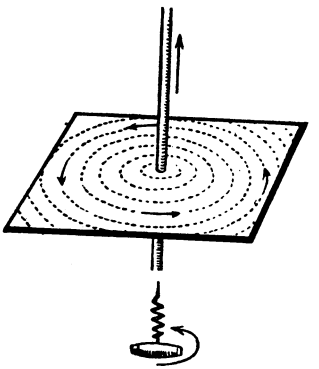
limaduras de hierro sobre la cartulina, observaremos que se forma un espectro magnético en que las limaduras de hierro forman circunferencias concéntricas, con centro en el cable. Lo mismo sucede cualquiera que sea la altura a que se coloque la cartulina.

Las líneas de fuerza del campo magnético creado por la corriente rectilínea son circulares, con centro en el hilo conductor.

El sentido de las líneas de fuerza se puede conocer fácilmente aplicando la regla del sacacorchos de Maxwell:

Cuando el avance de un sacacorchos indica el sentido de la corriente, su movimiento de rotación indica el sentido de las líneas de fuerza del campo creado.

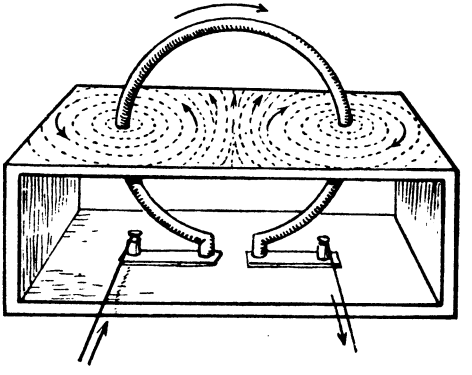
Campo magnético creado por una corriente cerrada. Caras de una corriente cerrada. — Se llama corriente cerrada a la que circula a lo largo de un hilo conductor cerrado sobre sí mismo en un plano.



Las líneas de fuerza del campo magnético de una corriente rectilínea son circulares con centro en el cable y de sentido dado por la regla del sacacorchos.

Una corriente cerrada crea un campo magnético. Para conocer la disposición de sus líneas de fuerza, dispongamos un circuito plano circular, colocado verticalmente, de manera que atraviese una hoja de cartulina, y hagamos circular por él una corriente procedente de una batería o generador. Espolvoreando sobre la cartulina limaduras de hierro, se disponen en la proximidad de los hilos en círculos alrededor de cada uno de ellos, con centro en el punto donde éstos cortan a la cartulina, mientras que en la parte central se disponen en líneas sensiblemente rectas y paralelas.

Se explica esta disposición porque, considerados independientemente, cada uno de los conductores en el punto donde corta a la cartulina podrá considerarse como una corriente rectilínea, la cual crea a su alrededor un campo, cuyas líneas de fuerza son circulares con centro en el conductor.



El campo magnético creado por una corriente cerrada tiene sus líneas de fuerza que entran por su cara sur y salen por su cara norte.

El campo creado por una corriente cerrada plana es igual al que crearía un imán muy corto, cuya distancia entre los polos fuese prácticamente nula.

La cara de la corriente por donde salen las líneas de fuerza se denomina *cara norte,* y la opuesta por donde entran las líneas de fuerza recibe el nombre de *cara sur.*

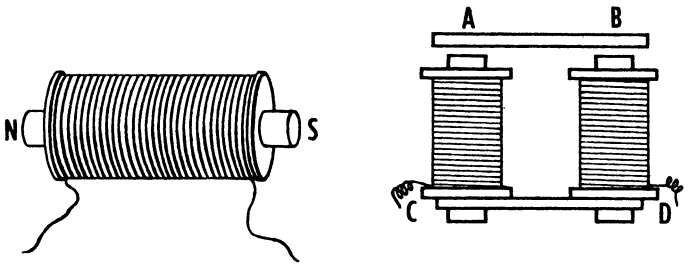
Para conocer fácilmente cuál es la cara norte y la cara sur de una corriente cerrada se dibuja sobre el plano de la misma una N, o una S con flechas en sus extremos. La letra cuyas flechas indican la dirección de la corriente es la inicial del nombre de la cara sobre que está escrita.

Solenides. — Un solenoide es un sistema de corrientes cerradas del mismo sentido, cuyos planos son normales a la línea que pasa por sus centros, llamada eje del solenoide.

Este solenoide teórico no es realizable prácticamente, pero puede hacerse de manera muy aproximada arrollando en hélice un hilo conductor sobre un tubo de vidrio y haciendo que el extremo del hilo regrese por dentro del solenoide paralelamente a su eje.

Todas las caras del mismo nombre están orientadas en el mismo sentido, y las caras extremas del solenoide son, por tanto, de distinto nombre.

Para estudiar el campo magnético creado por el solenoide repetiremos la experiencia del espectro magnético, teniendo dispuestas las espiras del solenoide de forma que atraviesen una cartulina situada en un plano horizontal que pase por el eje del mismo. Espolvoreando limaduras de hierro sobre la cartulina se disponen formando líneas que en el interior del solenoide son rectas y paralelas a su eje, y que fuera de él se cierran sobre sí mismas como lo hacen las de un imán.



Un electroimán está formado por un núcleo de hierro dulce envuelto por una bobina de hilo conductor.

Las líneas de fuerza del solenoide salen por su cara norte y entran por su cara sur.

El campo magnético creado por un solenoide es enteramente análogo al creado por una barra imantada, y por ello los solenoides tienen las propiedades de los imanes, como puede demostrarse experimentalmente.

Imantación por las corrientes. Electroimanes. — Una barra de hierro, acero o de otra sustancia magnética cualquiera, cuando se encuentra en un campo magnético, se convierte en un imán.

Por consiguiente, dado que las corrientes eléctricas producen a su alrededor un campo magnético, provocan la imantación de los cuerpos magnéticos que se aproximen a ellas.

El proceso de la imantación por las corrientes es un fenómeno complejo. Se hace aplicación de él para convertir en imán permanente una barra de acero, colocándola dentro de una bobina de hilo conductor, por el que se hace pasar una corriente de gran intensidad. Este procedimiento es el más eficaz para la fabricación de imanes permanentes.

Si introducimos una barra de hierro dulce en el interior de una bobina de hilo conductor, por el cual hacemos pasar una corriente de gran intensidad, la barra queda imantada y convertida en un imán, pero sus propiedades sólo duran el tiempo que dura el paso de la corriente a través de la bobina, al contrario de lo que ocurre con el acero.

Reciben el nombre de electroimanes los imanes temporales formados por la acción de una corriente eléctrica.

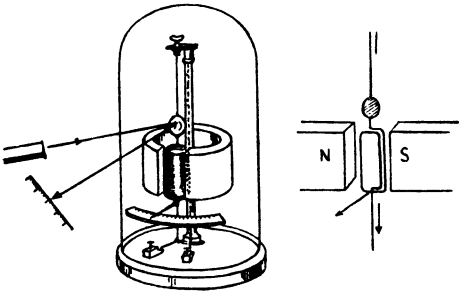
La barra de hierro dulce que se imanta por la acción de la corriente se llama *núcleo* del electroimán.

Aunque se construyen electroimanes rectos, ordinariamente se les da forma de ⊔ para que puedan actuar ambos polos simultáneamente. Sus ramas se envuelven en hilo conductor aislado, formando dos bobinas de gran número de espiras, cuyos arrollamientos se hacen de forma que en los extremos del núcleo aparezcan polos de distinto nombre.

Galvanómetros. Amperímetros y voltímetros. Su fundamento. — *La acción de una corriente sobre un imán, que varía con el sentido de la corriente y con su intensidad, se utiliza para denunciar el paso de una corriente y determinar su sentido, así como su intensidad.*

Los galvanoscopios y galvanómetros son aparatos que se fundan en este principio. Los primeros sólo sirven para señalar el paso de una corriente eléctrica, mientras que los segundos determinan también su intensidad.

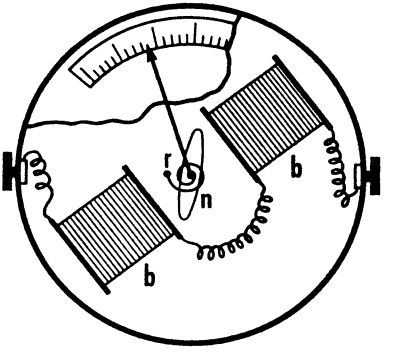
Constan esencialmente de dos partes fundamentales: un circuito recorrido por la corriente que se quiere revelar y un imán permanente. Una de estas partes es móvil y a su movimiento se opone una resistencia que tiende a equilibrar la desviación que produce el paso de corriente.



Galvanómetro de cuadro móvil. Cuando la corriente atraviesa la bobina móvil, tiende a girar en el campo del imán permanente y con el cuadro se mueve una aguja indicadora

Según que la parte móvil sea el imán o el circuito recorrido por la corriente, *los galvanoscopios o galvanómetros se denominan de imán móvil o de cuadro móvil.* En cualquiera de los casos, el órgano móvil está solidario a una aguja, que se desplaza frente a un limbro graduado.

Por el sentido de su desviación se conoce el de la corriente; por su desviación mayor o menor se conoce su intensidad, debiendo para ello estar graduado previamente el aparato.

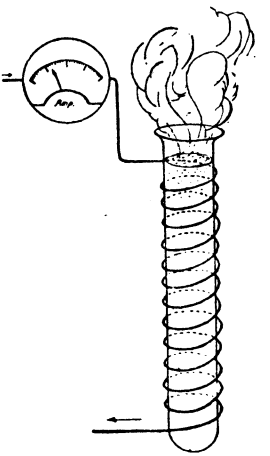


Amperímetro de imán móvil. En este aparato las bobinas por donde circula la corriente son fijas y el imán tiende a orientarse en el campo magnético de las bobinas, moviéndose con él la aguja indicadora.

Si los galvanómetros se gradúan en amperios o miliamperios, se llaman *amperímetros* o *miliamperímetros.*

Los *voltímetros se construyen, en esencia, como los amperímetros.* La única diferencia consiste en que *sus bobinas presentan una gran resistencia.* El aparato se instala en derivación entre los puntos cuya diferencia de potencial se quiere determinar, y de esta manera la corriente principal sigue pasando por el mismo circuito, mientras que por el voltímetro sólo pasa una pequeña intensidad de corriente, la cual resulta ser proporcional a la diferencia de potencial que existe entre los puntos de los que se ha sacado la derivación para el voltímetro. Graduando el aparato convenientemente en voltios, nos dará por lectura directa la diferencia de potencial de los puntos entre los que se ha instalado.

Efecto calorífico y luminoso de la corriente eléctrica. — Arrollemos un hilo de hierro de 0,2 mm de diámetro a un tubo de ensayo que contiene agua y conectemos sus extremos a los bornes de un acumulador. Observa-



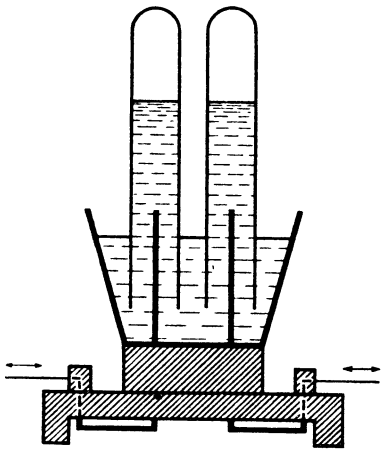
El calor desarrollado por la corriente eléctrica puede hacer hervir el agua contenida en este tubo de ensayo.

remos que tan pronto como se establece la corriente el hilo empieza a calentarse, llegando a calentar el agua contenida en el tubo, incluso haciéndola hervir.

El hilo desarrolla calor que puede llegar a ponerlo incandescente, desprendiendo entonces también luz, e incluso llega a fundirse.

De modo general se puede decir que cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor desarrolla en él cierta cantidad de calor, que puede llegar, en ocasiones, a ponerlo incandescente desprendiendo entonces calor y luz.

Efectos químicos de la corriente eléctrica. Electrólisis. — Tomemos un *voltámetro,* que es un vaso de vidrio por cuyo fondo penetran dos hilos conductores o electrodos, y conectemos sus electrodos con los polos de un generador, intercalando también un amperímetro. Si ponemos en el voltámetro agua pura, el amperímetro no indica paso de corriente alguna. Si vertemos en el voltámetro mercurio, la corriente pasa sin que se note ningún cambio ni alteración. Si finalmente ponemos en el voltámetro agua acidulada, o una disolución de una sal o de un hidróxido, comprobamos que la corriente se establece y al mismo tiempo se nota un desprendimiento de gases que prueba que el líquido se altera.



Cuando una corriente eléctrica se hace pasar a través de un voltámetro, el electrolito que contiene se descompone (electrólisis) acusando el paso de dicha corriente.

Estas experiencias prueban que mientras unos cuerpos como el mercurio y los metales en general dejan pasar la corriente sin alterarse, otros se descomponen a su paso y otros, finalmente, impiden el paso de la corriente. Los primeros se llaman conductores, los segundos electrólitos, y los terceros aislantes.

La descomposición química de un electrólito al paso de la corriente eléctrica, recibe el nombre de electrólisis. El electrodo del voltámetro conectado al polo positivo del generador se llama *ánodo,* y el conectado al polo negativo del generador, *cátodo.*

Los productos que se obtienen en la descomposición del electrólito dependen de la naturaleza de éste. Si el electrólito es una disolución de ácido sulfúrico se desprenden hidrógeno y oxígeno. Si se trata de una disolución de ácido clorhídrico, se desprenden hidrógeno y cloro, etc.

Ejercicios

¿Qué es una corriente eléctrica? ¿Qué electricidad es la que forma la corriente eléctrica?

¿Que son generadores eléctricos? ¿Consumen alguna forma de energía?

¿Qué es intensidad de una corriente eléctrica? ¿Cuál es la unidad de intensidad de corriente y cómo se define?

¿Cómo se manifiesta una corriente eléctrica sobre una aguja imantada?

¿Cómo se pone de manifiesto y cómo es el campo magnético creado por una corriente eléctrica rectilínea, una corriente circular y un solenoide?

¿Qué es y cómo se construye un electroimán?

¿Qué son los galvanómetros, amperímetros y voltímetros? ¿En qué se fundan estos aparatos?

Póngase algún ejemplo de aplicación del efecto calorífico de la corriente eléctrica.

¿En qué consiste la electrólisis?

Problema

Por un conductor circula una corriente eléctrica de 5 amperios de intensidad durante un minuto. ¿Cuántos culombios atraviesan el conductor en ese tiempo? (Resp.: 300 culombios.)

23. LEY DE OHM. RESISTENCIA ELÉCTRICA

Ley de Ohm. Resistencia Eléctrica. — Puesto que según hemos visto, la diferencia de potencial es la causa de la corriente eléctrica, tiene que haber cierta relación entre la intensidad de la corriente eléctrica y la diferencia de potencia que la produce. Como también, acudiendo de nuevo al símil hidráulico, existe una relación entre la diferencia de nivel entre dos vasijas y la intensidad de la corriente de agua que pasa de una a otra a través de un tubo.

Tomemos un conductor eléctrico y apliquemos a sus extremos una diferencia de potencial $V_1 - V_2$, y midamos la intensidad de la corriente que se produce. Si se hace variar la diferencia de potencial establecida se observa que, al mismo tiempo, varía la intensidad de la corriente, de tal modo que el cociente de la diferencia de potencial por la intensidad de la corriente es una cantidad constante mientras se opere con el mismo conductor. Es decir, que:

$$\frac{V_1 - V_2}{I} = \text{constante}$$

Este hecho se conoce con el nombre de ley de Ohm, la cual puede enunciarse diciendo:

Para cada conductor existe una relación constante entre la diferencia de potencial aplicada a sus extremos y la intensidad de la corriente que circula por él.

El valor de esa constante sólo depende de la naturaleza del conductor y de sus características, y representa la oposición que presenta al paso de la corriente eléctrica.

El valor de esa constante recibe el nombre de resistencia eléctrica del conductor y se representa por R, de modo que la ley de Ohm puede expresarse por:

$$\frac{V_1 - V_2}{I} = R$$

fórmula, que nos dice también que:

La resistencia eléctrica de un conductor es igual a la relación o cociente de la diferencia de potencial aplicada a sus extremos y la intensidad de la corriente que le atraviesa.

Unidades de resistencia. — La ley de Ohm permite definir la unidad de resistencia eléctrica, puesto que liga esta magnitud con otras dos, cuyas unidades ya se han definido anteriormente. En efecto, según esa fórmula, la resistencia de un conductor será la unidad cuando con una diferencia de potencial entre sus extremos de una unidad deja circular una corriente de una unidad de intensidad.

En el sistema práctico la unidad de resistencia se llama ohmio y se define como la resistencia de un conductor cuando teniendo entre sus extremos una diferencia de potencial de un voltio deja pasar una corriente de un amperio de intensidad.

El ohmio equivale a la resistencia de un conductor de mercurio de 1 mm de sección y una longitud de 106 cm cuando su temperatura es de cero grados centígrados.

Fórmula general de la ley de Ohm. — Cuando un generador de fuerza electromotriz E da lugar a una corriente de intensidad I, ésta circula por el circuito exterior de resistencia R, y además a través del propio generador, cuya resistencia interna llamaremos r. Aplicando la ley de Ohm a las dos partes del circuito, se tendrá:

$$R = \frac{V}{I} \qquad \text{y} \qquad r = \frac{V}{I}$$

donde V es la diferencia de potencial entre los bornes del generador y V' la caída de potencial en el interior del generador, necesaria para vencer su resistencia interior r.

Evidentemente, la fuerza electromotriz del generador ha de ser igual a la suma de estas dos diferencias de potencial, y por tanto:

$$E = I \cdot R + I \cdot r = I \cdot (R + r)$$

o también

$$I = \frac{E}{R + r}$$

que es la fórmula de la ley de Ohm aplicada a un circuito completo.

Únicamente siendo muy grande la resistencia R en relación a r puede despreciarse el término $I \cdot r$, y entonces queda solamente:

$$E = I \cdot R \qquad \text{o} \qquad R = \frac{E}{I}.$$

Factores de que depende la resistencia de un conductor. — La existencia de la resistencia eléctrica se explica por la naturaleza de la corriente: siendo ésta un flujo de electrones que atraviesa el conductor, parece natural que éstos encuentren una oposición por parte de las partículas materiales de éste.

Si llenamos un tubo con esferitas de unos centímetros de diámetro, por los espacios que dejan libres podrán pasar otras esferitas de diámetro mucho más pequeño, pero al hacerlo irán chocando contra las primeras, de las que encontrarán de esta forma una oposición a su movimiento. De manera semejante los electrones, en sus choques contra las partículas materiales que forman el conductor, reciben de éste una oposición, que es la causa de la resistencia eléctrica.

Según se desprende de lo dicho más arriba, *la resistencia eléctrica de un conductor es mayor cuanto mayor es su longitud y cuanto menor sea su sección, y depende también de la naturaleza del mismo,* pues las condiciones en que se mueven los electrones dependen también de ello. Por tanto, la resistencia eléctrica de un conductor vendrá dada por la fórmula:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

donde l es la longitud del conductor, s su sección, y ρ una constante de proporcionalidad que depende de la naturaleza del mismo y es diferente para cada metal. Esta constante se llama *resistencia específica o resistividad,* y representa la resistencia de un conductor de la misma clase, cuya longitud y cuya sección sean iguales a la unidad.

La resistencia de un conductor depende también de la temperatura del

mismo. Si la resistencia de un conductor a 0° es R_0, su resistencia a $t°$ viene dada por la fórmula:

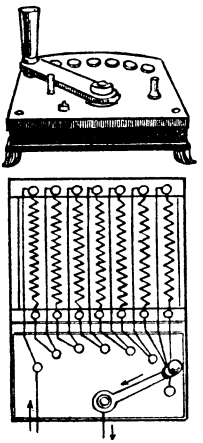
$$R_t = R_0(1 + \lambda t),$$

donde λ es una constante cuyo valor es, aproximadamente:

$$\lambda = \frac{1}{273}$$

Se da el caso de que en las proximidades del cero absoluto, la resistencia de cualquier conductor desaparece prácticamente. A estas temperaturas se ha podido mantener en un circuito una corriente circulando durante horas sin diferencia de potencial, debido a que una vez puestas las masas eléctricas en movimiento han seguido moviéndose sin necesidad de aplicarles fuerza electromotriz, debido a que tampoco encontraban resistencia por parte del conductor. Los conductores en este estado reciben el nombre de *superconductores.*

Aplicaciones de la ley de Ohm. Reóstatos y cajas de resistencias. — Según se deduce de la ley de Ohm, se puede modificar la intensidad de una corriente que pasa por un circuito modificando la resistencia de éste. Para ello se usan los reóstatos y cajas de resistencias.



Una aplicación de la ley de Ohm son los reóstatos. Haciendo variar la resistencia eléctrica de un circuito se modifica la intensidad de la corriente que lo atraviesa.

Un *reóstato* está formado, esencialmente, por una manivela conductora, que girando sobre un extremo puede ponerse por el otro en contacto con distintas piezas metálicas. Entre estas piezas hay resistencias eléctricas y la corriente llega por el extremo fijo de la manivela y sale por la última pieza metálica sobre la que se puede apoyar dicha manivela. Según la

posición de ésta, se obliga a la corriente a pasar por mayor o menor número de resistencias.

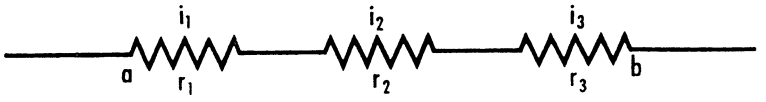
Una *caja de resistencias* contiene una serie de ellas de valores fijos, que guardan entre sí la misma relación que las masas de una caja de pesas, instaladas entre piezas metálicas intermedias. La corriente entra por la primera de ellas, y después de pasar por todas las resistencias sale por la última. Pero si entre dos de estas piezas metálicas consecutivas se interpone una clavija de resistencia despreciable la corriente pasará por ella y no por la resistencia que une las mismas piezas. De este modo, poniendo o quitando clavijas, puede modificarse a voluntad la resistencia total de la caja.

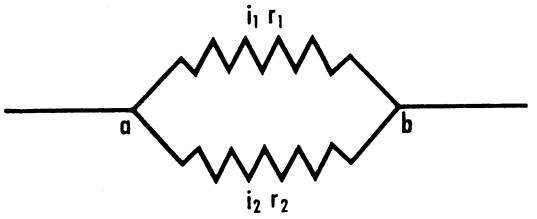
Cuando en un circuito se intercala un reóstato o una caja de resistencias, con ellas se puede modificar la resistencia total del circuito y la intensidad de la corriente que circula por él.

La ley de Ohm permite determinar ante todo la resistencia de un conductor, midiendo la diferencia de potencial que hay entre sus extremos y la intensidad de la corriente que circula por él. El cociente del primer valor por el segundo nos da la resistencia buscada.

Conductores en serie y en paralelo. — *Dos o más conductores están instalados en serie cuando están dispuestos de forma que toda la electricidad que circula por uno de ellos está obligada a circular también por todos los demás. Por el contrario, se dice que están instalados en paralelo o en derivación cuando por cada uno de ellos pasa una parte de la electricidad total del circuito.*

La ley de Ohm permite también averiguar cuál es el valor de la resistencia total ofrecida al paso de la corriente por varios conductores instalados en serie o en derivación. En efecto, cuando los conductores están instalados en serie, la diferencia de potencial que hay entre los puntos *a* y *b*, situados a la entrada de la primera resistencia y a la salida de la





última, es igual, evidentemente, a la suma de las diferencias de potencial parciales a la entrada y salida de cada resistencia. Es decir, que si llamamos V a la diferencia de potencial total y V_1, V_2, V_a, etc., a las intermedias, se tiene que:

$$V = V_1 + V_2 + \ldots$$

y aplicando la ley de Ohm a cada una de las resistencias parciales será:

$$V_1 = i_1 \cdot r_1, \qquad V_2 = i_2 \cdot r_2 \ldots,$$

y siendo:

$$i_1 = i_2 = i_3;$$

sumando se tiene:

$$V = V_1 + V_2 \ldots = i_1 r_1 + i_2 r_2 + \ldots = i(r_1 + r_2 + r_3 \ldots),$$

de donde:

$$\frac{V}{i} = r_1 + r_2 + r_3 + \ldots$$

expresión que nos dice que *la resistencia total de varios conductores instalados en serie es igual a la suma de las resistencias de todos ellos;* es decir, que se podrían sustituir todas las resistencias por una sola R tal que:

$$R = r_1 + r_2 + \ldots$$

Si las resistencias r_1, r_2, ..., están instaladas en derivación sobre dos puntos del circuito, la diferencia de potencial entre los extremos de todas ellas es la misma, de forma que si la llamamos V se tiene:

$$V = i_1 r_1 = i_2 r_2 \ldots,$$

o sea:

$$i_1 = \frac{V}{r_1}; \qquad i_2 = \frac{V}{r_2}; \qquad i_3 = \frac{V}{r_3}$$

y por tanto, la intensidad total que circula entre a y b es:

$$I = i_1 + i_2 + \ldots = \frac{V}{r_1} + \frac{V}{r_2} + \ldots = V\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \ldots\right)$$

El valor inverso de la resistencia recibe el nombre de *conductancia* y la expresión hallada últimamente nos dice que *la conductancia de varias resistencias en paralelo es igual a la suma de las conductancias de todas ellas;* es decir, que varias resistencias instaladas en paralelo pueden sustituirse por una sola R que cumpla la condición:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots$$

Cuando se trata de dos conductores en derivación, entonces, según queda dicho, será:

$$V = i_1 r_1 = i_2 r_2,$$

de donde:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

lo que nos dice que *las intensidades de corriente que pasan por dos conductores instalados en paralelo, están en razón inversa de sus respectivas resistencias.*

Éste es el caso de los voltímetros instalados en derivación.

Ejercicios

Enunciar la ley de Ohm y explicar su significado. Escribir la fórmula que expresa la ley de Ohm.

¿Qué se entiende por resistencia eléctrica de un conductor y de qué factores depende? ¿Cuál es la unidad de resistencia eléctrica y cómo se define en virtud de la ley de Ohm?

Indíquese alguna aplicación de la ley de Ohm. Decir qué es un reóstato y una caja de resistencias. ¿Cómo se puede modificar la intensidad de una corriente eléctrica a través de un circuito mediante un reóstato o una caja de resistencias?

Problemas

1. Una pila eléctrica tiene una resistencia interior de 0,2 ohmios, y está aplicada a un circuito cuya resistencia es $R = 9{,}8$ ohmios, siendo la intensidad de la corriente producida de 0,2 amperios. Se pregunta: *a*) ¿Cuál es la fuerza electromotriz de la pila? *b*) ¿Cuánto valdrá la diferencia de potencial entre los bornes de la pila? *c*) ¿Cuánto valdrá la caída de potencial en el interior de la pila? (Resp.: $E = 2$ voltios; $V_1 - V_2 = 1{,}96$ voltios; caída interior = 0,04 voltios.)

2. Se dispone de una diferencia de potencial constante de 12 voltios en los extremos de un circuito eléctrico que incluye una caja de resistencia. ¿Qué resistencia total habrá de tener el circuito para que la intensidad de la corriente valga 0,4 amperios?

3. Dos resistencias de 15 y 20 ohmios están instaladas en paralelo entre dos puntos. La intensidad de la corriente que pasa por la primera es de 2 amperios. Se desea saber: *a*) la diferencia de potencial entre los puntos donde se reúnen las resistencias; *b*) la intensidad de la corriente que circula por la segunda resistencia. (Resp.: $V_1 - V_2 = 30$ V; $I_2 = 1{,}5$ A.)

24. TRABAJO Y POTENCIA DE LA CORRIENTE

Trabajo y potencia de la corriente eléctrica. — Lo mismo que una masa de agua cayendo de un nivel a otro produce trabajo mecánico, una masa eléctrica al pasar de un potencial a otro, produce trabajo eléctrico.

Teniendo presente el concepto de diferencia de potencial establecido anteriormente y recordando la definición dada de voltio, podemos entender fácilmente qué es trabajo eléctrico de una corriente y calcular su valor.

Decíamos que entre dos puntos existe una diferencia de potencial cuando para pasar de uno a otro una masa eléctrica es preciso realizar trabajo. Decíamos también que la diferencia de potencial es de un voltio cuando para pasar de uno a otro la carga de un culombio hay que realizar el trabajo de un julio.

Pues bien, si entre dos puntos hay una diferencia de potencial de un voltio, cuando del potencial superior caiga al inferior una masa eléctrica de un culombio, realizará el trabajo de un julio. Lo mismo que cuando cae una masa de un kilo desde una altura de un metro realiza el trabajo de un kilográmetro.

Si la diferencia de potencial no es de un voltio, sino de $V_1 - V_2$ voltios y la masa eléctrica que pasa de uno á otro es igual a Q culombios, el trabajo eléctrico realizado expresado en julios, vendrá dado por:

$$\mathcal{E} = Q(V_1 - V_2)$$

Cuando se trata de una corriente eléctrica que circula entre puntos, cuya diferencia de potencial es $V_1 - V_2$ durante un tiempo t, con una intensidad i, la cantidad de electricidad transportada en ese tiempo será $Q = i \cdot t$ y, por tanto, el trabajo eléctrico de la corriente será:

$$\mathcal{E} = i \cdot t \cdot (V_1 - V_2)$$

El trabajo eléctrico de una corriente viene dado por el producto de la diferencia de potencial entre los puntos que circula, por su intensidad y por el tiempo que dura. Si el potencial se da en voltios, la intensidad en amperios y el tiempo en segundos, el trabajo viene dado en julios.

El trabajo eléctrico de una corriente se emplea, en primer término, para vencer la resistencia del conductor por donde circula, y además, en otros trabajos, cómo mover un motor, realizar una electrólisis, etc.

Como se llama potencia a la razón o cociente entre el trabajo realizado y el tiempo tardado en realizarlo, llamaremos potencia de la corriente eléctrica a la relación:

$$P = \frac{\mathfrak{T}}{t} = \frac{i \cdot t \cdot (V_1 - V_2)}{t}$$

o sea que:

$$P = i \cdot (V_2 - V_1)$$

Lo potencia de una corriente es igual al trabajo efectuado por ella en la unidad de tiempo y viene dada por el producto de su intensidad por la diferencia de potencial entre los puntos entre que circula.

La unidad de potencia es el vatio, que se define como la potencia de una corriente que realiza un julio de trabajo en cada segundo de tiempo.

Si el potencial de la corriente se mide en voltios y la intensidad en amperios, la potencia de la corriente viene expresada en vatios.

Como el vatio es una unidad pequeña para los usos corriente, se usa también el *kilovatio,* equivalente a 1000 vatios.

Transformación del trabajo eléctrico en calor. Leyes de Joule. — Cuando una corriente atraviesa un conductor, hemos dicho que su trabajo eléctrico se emplea en vencer la resistencia de éste. Si en todo el conductor no hay ningún aparato que consuma trabajo eléctrico, es evidente que éste se invertirá exclusivamente en vencer la resistencia eléctrica del conductor y se transformará, en definitiva, en calor, como cuando el trabajo de una máquina se emplea en vencer un rozamiento: en donde éste se produce aparece calor.

Joule determinó experimentalmente la relación entre el calor desarrollado por la corriente eléctrica y sus características, así como con el tiempo que dura la corriente. Estas relaciones se conocen con el nombre de leyes de Joule y pueden expresarse del siguiente modo:

La cantidad de calor desarrollada por una corriente.

1.ª Es proporcional al cuadrado de su intensidad.

2.ª Es proporcional a la resistencia del conductor.

3.ª Es directamente proporcional al tiempo que circula.

Estas leyes determinadas por Joule experimentalmente pueden deducirse fácilmente con sólo tener en cuenta que este calor desarrollado tiene que ser a expensas del trabajo eléctrico consumido. Puesto que según sabemos, el trabajo desarrollado por la corriente vale:

$$\mathfrak{T} = i \cdot t \cdot (V_1 - V_2)$$

y puesto que la diferencia de potencial es, según la ley de Ohm,

$$V_1 - V_2 = i \cdot R,$$

el trabajo eléctrico vendrá dado por:

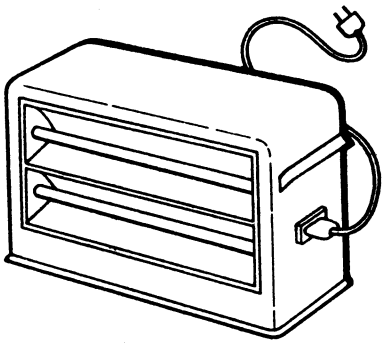
$$\mathfrak{T} = i \cdot t \cdot i \cdot R = i^2 \cdot R \cdot t \text{ julios.}$$

Recordando, finalmente, que un julio equivale a 0,24 cal·g, resulta que el trabajo eléctrico podrá expresarse en calorías, multiplicando por 0,24 su valor en julios; es decir, que el calor desarrollado por la corriente será:

$$Q = 0{,}24 \cdot i^2 \cdot R \cdot t \text{ cal·g,}$$

fórmula que encierra las leyes de Joule antes enunciadas.

Aplicaciones. — El calor desarrollado por la corriente eléctrica tiene numerosas aplicaciones, muchas de las cuales son bien conocidas.

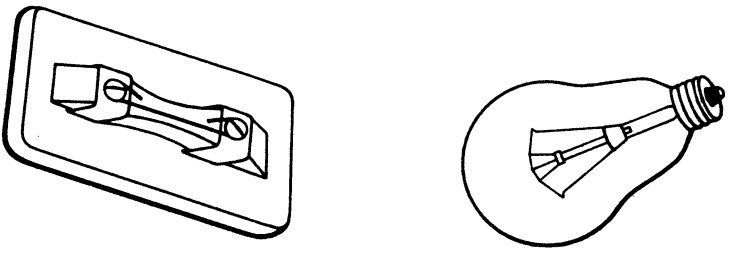


Una aplicación del efecto de Joule son las estufas eléctricas. El trabajo eléctrico de la corriente que atraviesa la resistencia de la estufa se convierte en calor.

Los hornillos eléctricos, planchas, estufas, etc., constan esencialmente de un hilo conductor que presenta una gran resistencia eléctrica, arrollado sobre porcelana, amianto o mica. La corriente eléctrica que atraviesa esa resistencia desarrolla en ella un calor que, según hemos dicho, dependerá de las características de la corriente y del valor de la resistencia del aparato y, en todos los casos, ese calor es el efecto que se pretende.

Otra aplicación de las leyes de Joule son los *fusibles*. Constan de un hilo de plomo instalado en serie en el circuito, el cual llega a fundirse si la intensidad de la corriente pasa de cierto límite superior al previsto. Si por una causa cualquiera se sobrepasa dicho límite, el fusible se funde y la corriente se interrumpe antes de que pueda causar perjuicio alguno en la instalación, que tendría que soportar una intensidad de corriente superior a la que se había calculado.

Otra aplicación importante es, sobre todo, la *lámpara de incandescencia*. La primitiva lámpara de Edison estaba formada por un hilo de carbón de bambú encerrado en una ampolla de vidrio, en la cual se hacía el vacío para evitar la combustión del carbón cuando se ponía incandescente. Los extremos del hilo de carbón estaban en contacto con dos hilos



Otra aplicación del efecto de Joule son los fusibles y las lámparas de incandescencia.

metálicos soldados al vidrio y en contacto a su vez con dos piezas metálicas exteriores a la ampolla. Tal filamento se pone incandescente al paso de la corriente y emite luz además de calor, aunque debido a no poder obtenerse con este dispositivo una temperatura demasiado elevada, la luz producida no es blanca, sino muy rojiza.

Posteriormente el hilo de carbón se ha sustituido por un hilo metálico que permite mayor temperatura y mayor intensidad luminosa con menor gasto de energía eléctrica. Por último, se ha aumentado el rendimiento de estas lámparas de incandescencia introduciendo en la ampolla un gas inerte a baja presión, lo que impide la volatilización del filamento y permite que su temperatura pueda ser aún más elevada.

Ejercicios

¿Qué se entiende por trabajo de una corriente eléctrica? ¿Cómo se calcula?

¿Qué es y cómo se calcula la potencia de una corriente eléctrica?

¿En qué unidades se expresa el trabajo y en cuáles la potencia de una corriente eléctrica?

¿De qué factores depende el calor desarrollado por una corriente? Enúnciense las leyes de Joule y escríbase la fórmula en que se condensan.

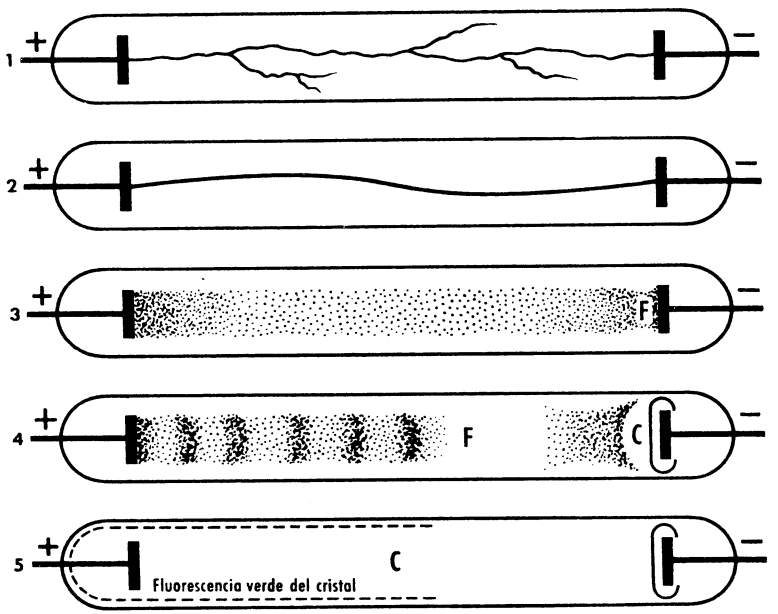
Problemas

Una corriente circula a través de un conductor de 100 ohmios con una intensidad de 0,6 amp. durante 5 minutos. Se desea saber: *a*) Los culombios que atraviesan el conductor; b) El trabajo desarrollado por la corriente; *c*) La potencia de la corriente; *d*) El calor desarrollado por la corriente; *e*) La diferencia de potencial en los extremos de la resistencia. (Resp.: $Q = 180$ culombios. $T = 10\,800$ julios. $P =$ julios/seg. $C = 2512$ cal/g. $V_1 - V_2 = 60$ voltios.)

25. DESCARGA A TRAVÉS DE LOS GASES ENRARECIDOS. ELECTRONES

Descarga eléctrica a través de los gases. — Ya sabemos que hay cuerpos buenos conductores de la electricidad (metales) y cuerpos aislantes o malos conductores a través de los cuales la electricidad no puede pasar. También hemos visto que algunos cuerpos se dejan atravesar por la corriente eléctrica, pero se descomponen a su paso; a éstos se les llamaba conductores de segunda clase o electrólitos.

Los gases son, en general, malos conductores de la electricidad, de manera que cuando un hilo conductor por el que está pasando una corriente eléctrica se corta y los extremos se separan, la corriente cesa. No obstante, cuando se acercan dos conductores en comunicación con los polos



de un generador que produzca un elevado potencial, como un carrete de inducción, salta entre ellos una chispa eléctrica, es decir, se produce una descarga llamada *disruptiva* y la corriente pasa a través del aire como lo prueba un amperímetro intercalado en el circuito. La distancia mínima necesaria para que salte la chispa depende de la diferencia de potencial existente entre los extremos del conductor.

Si los extremos del conductor se hacen penetrar en los extremos de un tubo de vidrio en el que se puede hacer el vacío de manera gradual, se observan los siguientes fenómenos:

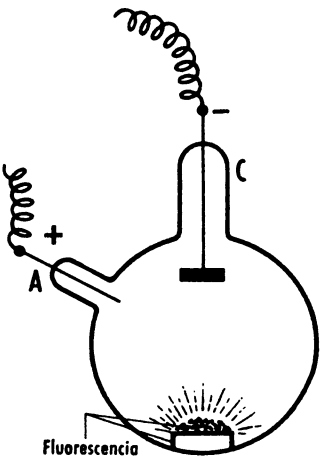
1.° Si el gas contenido en el tubo está a la presión atmosférica, la descarga tiene el aspecto de una línea luminosa más o menos ramificada que va de un conductor a otro.

2.° Cuando se comienza a hacer el vacío en el tubo, la chispa se hace estable y rectilínea.

3.° Cuando la presión del gas del tubo es del orden de 1 mm de mercurio, la chispa se ensancha y da una luz rosada formando lo que se llama *columna positiva*. Esta columna positiva parte del electrodo positivo o ánodo y llega hasta las proximidades del electrodo negativo o cátodo, del cual queda separada por un pequeño espacio oscuro llamado espacio de Faraday, mientras el propio cátodo se rodea de un brillo violáceo.

4.° A medida que el vacío en el tubo aumenta, la columna positiva se estratifica y retira hacia el ánodo en tanto que el brillo violáceo que rodeaba al cátodo se separa del mismo, quedando entre ellos un nuevo espacio oscuro llamado espacio de Crookes. El cátodo queda ahora aureolado por un resplandor rosáceo.

5.° Si aumenta el enrarecimiento del tubo hasta llegar a 0,001 mm de mercurio, el espacio oscuro de Crookes se extiende y termina llenando



Los rayos catódicos provocan la fluorescencia de muchas sustancias.

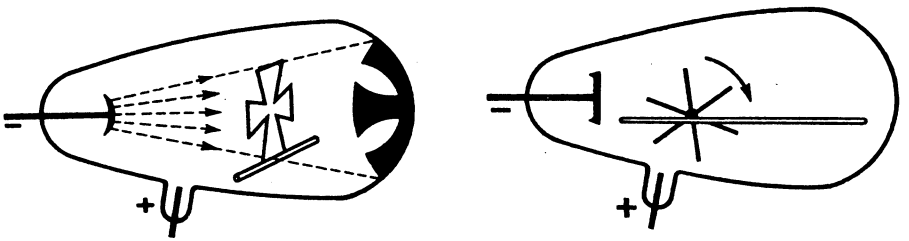
todo el tubo, en cuyo momento la pared del tubo opuesta al cátodo se hace fluorescente.

6.° Cuando el vacío es casi absoluto, todos los fenómenos desaparecen y la descarga cesa. El vacío absoluto es un perfecto aislador.

Rayos catódicos. — En la experiencia anterior, la fluorescencia que adquiere el tubo de descarga se debe a una radiación que parte del cátodo. Fue descubierta por el físico alemán Hittorf, y es conocida con el nombre de *rayos catódicos.*

Los rayos catódicos presentan interesantes propiedades:

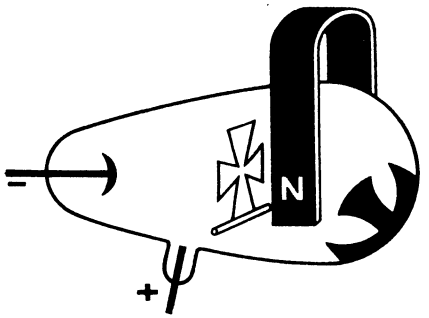
a) *Provocan la fluorescencia de diversas sustancias,* como el vidrio, que da una fluorescencia verdosa.



Los rayos catódicos se propagan en línea recta y poseen energía cinética. Están formados por electrones repelidos a enorme velocidad por el cátodo de la ampolla.

b) *Se propagan en línea recta y salen perperdicularmente al cátodo,* cualquiera que sea la posición del ánodo. Si la ampolla tiene una cruz de aluminio en el camino de los rayos catódicos, la fluorescencia no se produce en la zona de sombra que proyecta la cruz.

c) *Poseen energía cinética.* Efectivamente, si los rayos catódicos caen sobre un molinete de hojillas de mica, se pone a girar rápidamente.



Los rayos catódicos son desviados por los campos magnéticos como lo sería una corriente eléctrica.

d) *Los rayos catódicos son desviados por los campos magnéticos.* Efectivamente, cuando un haz de rayos catódicos pasa entre los polos de un imán, se desvía como lo haría una corriente eléctrica en iguales circunstancias, como queda demostrado por el desplazamiento de la sombra proyectada por un objeto metálico.

e) *Electrizan negativamente los cuerpos sobre que caen.* Efectivamente, haciendo caer un fino haz de rayos catódicos sobre un cilindro metálico se electriza y se comprueba que la electricidad acumulada es negativa.

Naturaleza de los rayos catódicos. — Las propiedades eléctricas de los rayos catódicos pueden resumirse diciendo que son las de una corriente eléctrica que se dirigiese hacia el ánodo, es decir, que los rayos catódicos transportan electricidad negativa.

Para explicar las propiedades de los rayos catódicos se admite por tanto que: *Los rayos catódicos están constituidos por cargas eléctricas negativas, llamadas electrones o negatones, las cuales poseen una cierta masa y están dotados de una determinada velocidad.*

Los rayos catódicos no son más que un haz de partículas materiales, cargadas negativamente, que salen del cátodo del tubo de descarga y que se propagan en línea recta a gran velocidad.

Estos electrones proceden de las moléculas del gas que aún queda en el tubo, a pesar del alto vacío, cuyos átomos, sometidos a la gran diferencia de potencial que existe entre el ánodo y el cátodo, pierden algún electrón de su corteza. Estos electrones son repelidos fuertemente por el cátodo y lanzados en línea recta a gran velocidad. Cada molécula que ha perdido un electrón queda entonces cargada positivamente, y recibe el nombre de ion positivo. Los iones positivos son atraídos por el cátodo y dan lugar a otros rayos denominados rayos canales, de los que no hablaremos aquí.

Carga y masa del electrón. Naturaleza corpuscular de la electricidad. — Mediante delicados experimentos que no vamos a citar aquí, se ha podido averiguar la carga y la masa del electrón. Se ha llegado a la conclusión de que *no existe más que un solo tipo de electrón* constituyente universal de la electricidad y de la materia.

La electricidad tiene estructura discontinua; la cantidad más pequeña de electricidad que puede existir es igual a la carga de un electrón, y vale:

$$-e = 1{,}602 \cdot 10^{-19} \text{ culombios}$$

En cuanto a la masa del electrón, su valor es extraordinariamente pequeño:

$$m = 0{,}9 \cdot 10^{-27} \text{ gramos}$$

lo que representa que el electrón tiene una masa 1840 veces menor que el átomo de hidrógeno, que es el menor de todos los átomos.

Se admite también que la corriente eléctrica que circula por un con-

ductor no es sino una corriente de electrones, que proceden de los átomos del conductor y que circula del polo negativo al positivo del generador, es decir, en sentido contrario al que habitualmente se dice que tiene la corriente, que sale del polo positivo y entra por el negativo.

Ejercicios

Descríbanse los fenómenos que se observan en la descarga eléctrica a través del aire a medida que produce un vacío creciente entre los conductores o electrodos.

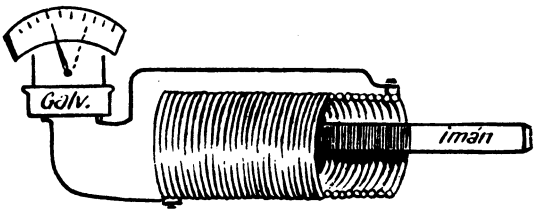
¿Qué son los rayos catódicos y cuales son sus propiedades?

¿Hay transporte de masa con los rayos catódicos?

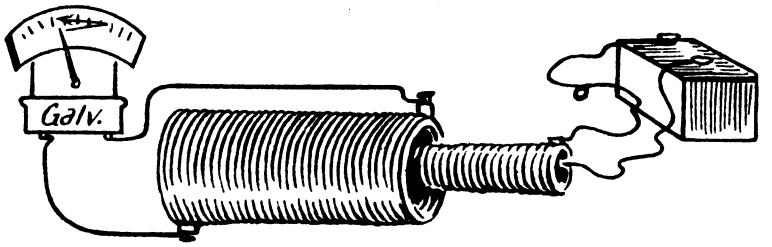
26. CORRIENTES INDUCIDAS. MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Corrientes inducidas. Manera de producirlas. — Tomemos una bobina de hilo conductor aislado cuyos extremos se conectan a los bornes de un galvanoscopio. Tomemos una barra imantada recta e introduzcámosla en el interior de la bobina sin tocar sus paredes. Por este solo hecho, la aguja del galvanoscopio se desvía bruscamente acusando el paso de una corriente eléctrica, que cesa cuando el imán queda en reposo dentro de la bobina. Al sacar el imán se observa otra vez la aparición de una corriente eléctrica, acusada por el galvanoscopio, que dura solamente el tiempo de movimiento del imán al salir de la bobina, pero su sentido es contrario a la producida primeramente.

Es fácil comprobar que la intensidad de la corriente varía con la rapi-



Cada vez que se introduce o se saca el imán en el interior de la bobina, aparece en ésta una corriente inducida que dura lo que el movimiento del imán.



Cuando se cierra el circuito de la bobina estrecha y también cuando se abre, aparece en la bobina mayor una corriente inducida.

dez del movimiento del imán. También se puede comprobar que el sentido de la corriente producida da lugar, en el extremo de la bobina por donde se introduce el imán a un polo de igual nombre que el del imán que se introduce cuando se acerca y de distinto nombre cuando se aleja. En ambos casos la corriente creada trata de oponerse al movimiento del imán, primero rechazándolo y luego atrayéndolo.

Coloquemos ahora en el interior de la bobina de nuestra experiencia otra bobina de menor diámetro, conectando los extremos de su hilo conductor a los polos de un generador de corriente, por ejemplo, un acumulador de automóvil, intercalando un interruptor. Se observa que cada vez que cerramos el circuito del generador, la aguja del galvanoscopio sufre una sacudida y se desvía por unos instantes volviendo en seguida a su posición de reposo, y lo mismo ocurre cada vez que se abre el circuito aunque la desviación de la aguja es ahora de sentido contrario.

Se puede comprobar que el sentido de la corriente creada en la bobina de mayor diámetro es, al cerrar el circuito, del mismo sentido que cuando acercábamos el imán de la experiencia anterior, y al abrirlo, de igual sentido que cuando lo alejábamos.

Estas experiencias confirman el hecho descubierto por Faraday, de que cuando en las proximidades de un circuito cerrado se hace variar un campo magnético, bien por el movimiento de un imán o por la variación de la intensidad de una corriente, se produce en él una corriente eléctrica.

La acción del imán o de la corriente del acumulador se llama *inducción*, y la corriente que se origina se denomina *corriente inducida*.

Para la producción de corrientes inducidas es preciso disponer de un sistema inductor, productor de un campo magnético variable, y un circuito conductor llamado inducido, donde aquellas corrientes puedan desarrollarse.

De un modo general puede decirse que:

1. *Siempre que se modifica un campo magnético frente a un circuito cerrado, se produce en éste una corriente inducida.*

2. La corriente inducida dura solamente el tiempo que dura la variación del campo magnético inductor.

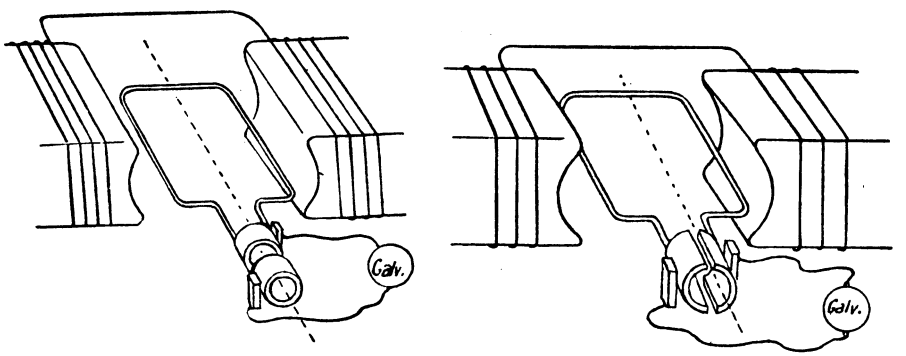
3. El sentido de la corriente inducida tiende en cada caso a oponerse mediante sus acciones electromagnéticas a la causa que la produce.

Esta última ley se conoce con el nombre de ley de Lenz. Su significado se comprende muy bien en la primera experiencia descrita: La corriente inducida que se origina cuando se acerca el imán a la bobina es de tal sentido que da lugar en el extremo de la misma por donde tratamos de introducir el imán a un polo de igual nombre que el que se acerca, para rechazarlo y así oponerse a la causa que produce la corriente. Al retirar el imán, la corriente producida es de sentido contrario a la anterior, de forma que el polo formado es de nombre contrario al del imán que se aleja para atraerlo y así oponerse a la acción que la produce.

Máquinas de inducción. Generadores de corriente. — *Son aparatos destinados a producir corrientes eléctricas, fundados en las corrientes inducidas. En ellos se produce energía eléctrica consumiendo energía mecánica.*

Para hacernos una idea del funcionamiento de estos aparatos, consideremos un potente imán en forma de U, entre cuyos polos podamos hacer girar, con eje de giro perpendicular a las líneas de fuerza de su campo, un pequeño cuadro de hilo conductor aislado. Los extremos de éste terminan en dos anillos concéntricos con el eje de giro y sobre estos anillos colectores resbalan dos conductores, llamados escobillas, que terminan en los bornes de un galvanoscopio sensible. Así, queda formado un circuito cerrado formado por el galvanoscopio y la bobina giratoria.

Haciendo girar la bobina, se observa que la aguja del galvanoscopio oscila a un lado y otro de su posición de equilibrio, indicando el paso de



Al girar el cuadro de hilo conductor en el campo del imán aparece en él una corriente inducida alterna que acusa el galvanómetro. Si el colector está formado por dos medios anillos (fig. derecha), la corriente en el circuito exterior tiene siempre el mismo sentido.

una corriente que cambia de sentido cada vez que el cuadro móvil pasa por la posición vertical. Estas corrientes, cuyo sentido cambia periódicamente, reciben el nombre de *corrientes alternas.*

Para obtener una corriente eléctrica cuyo sentido no cambiase, es decir, una *corriente continua,* sería preciso que en el aparato de la experiencia pudiesen cambiarse las conexiones de las escobillas sobre los anillos colectores cada vez que la corriente cambia de sentido. De esta manera la corriente en circuito exterior siempre saldría por la misma escobilla y circularía siempre en el mismo sentido.

Esto se puede conseguir en la práctica sustituyendo los anillos colectores por un anillo único cortado en dos puntos diametralmente opuestos, o sea, en dos medios anillos, los cuales están fijos sobre el eje de rotación. Sobre este anillo cortado se apoyan, en puntos diametralmente opuestos, dos escobillas de cobre que recogen y llevan al circuito exterior del galvanoscopio las corrientes inducidas al girar el cuadro móvil.

De este modo cada escobilla está en contacto alternativamente con un extremo y otro del cuadro, cambiándose la conexión a cada media vuelta de éste, precisamente cuando va a cambiar el sentido de la corriente, con lo que en el circuito del galvanoscopio se mantiene invariable el sentido de la corriente.

Las experiencias expuestas son el fundamento de los aparatos destinados a obtener corrientes eléctricas alternas y continuas.

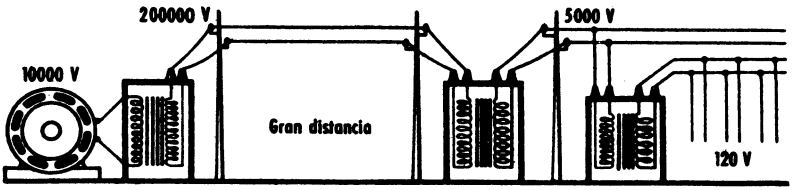
Los generadores de corriente alterna se llaman *alternadores.* Los de corriente continua se llaman *magnetos* o *dínamos,* según que el campo magnético inductor esté creado por un imán permanente o por un electroimán.

Motores eléctricos. Principio en que se fundan. — *Motores eléctricos son aparatos destinados a producir trabajo mecánico consumiendo energía eléctrica.*

Esencialmente son generadores de corriente (dínamos o alternadores) que funcionan al contrario que éstos, recibiendo corriente que da lugar al movimiento del rotor, a cuyo eje se acopla una rueda de transmisión.

Si a los aparatos descritos en los párrafos anteriores se hace llegar una corriente de igual clase que la que ellos producen, puesto que las acciones entre corrientes e imanes son recíprocas, la parte móvil del aparato se verá obligada a moverse en sentido contrario a como lo hacía para producir corriente. De esta manera los generadores de corriente se convierten en unos aparatos que, mediante el consumo de energía eléctrica en forma de corriente, producen el movimiento de un rotor, el cual puede transmitirse a otros aparatos donde se consuma trabajo mecánico.

Transporte de energía eléctrica a grandes distancias. Transformadores. — Generalmente, la energía eléctrica que se consume en las ciudades y otros centros de consumo se produce a grandes distancias de los mismos,



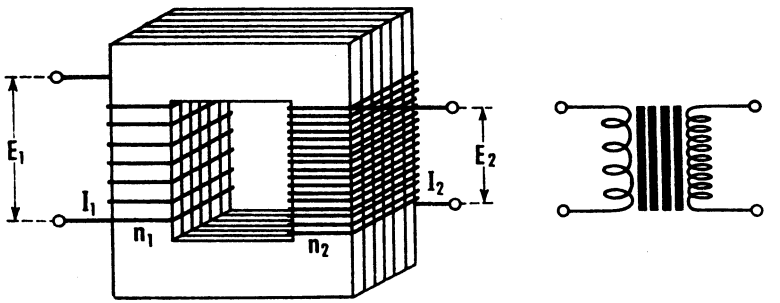
Los transformadores permiten transportar la energía eléctrica a gran distancia y acomodar su potencial a las necesidades del consumo.

planteándose el problema del transporte de la energía eléctrica. El transporte de energía eléctrica en forma de corriente supone una pérdida en forma de calor desarrollado en la línea de conducción por el efecto de Joule, tanto mayor cuanto más larga sea.

El trabajo eléctrico perdido en forma de calor es proporcional a la resistencia del conductor y proporcional también al cuadrado de la intensidad de la corriente. Por esto es aconsejable transformar la corriente antes de transportarla en otra equivalente, cuya intensidad sea lo menor posible. *Los transformadores eléctricos son aparatos destinados a convertir una corriente eléctrica alterna en otra de igual potencia, pero de intensidad y fuerza electromotriz diferentes.*

Los transformadores consisten esencialmente en un anillo de hierro dulce sobre el cual van dos arrollamientos de hilo conductor aislado. Uno de estos arrollamientos está constituido por pocas espiras de hilo grueso, mientras el otro está formado por muchas espiras de hilo fino.

Si por el primer arrollamiento circula una corriente alterna de intensidad I_1 y fuerza electromotriz E_1, las variaciones del campo magnético que produce da lugar en el otro arrollamiento a una corriente inducida también alterna, cuya intensidad y fuerza electromotriz I_2 y E_2 son distintos de los de la corriente inductora.



Esquema de un transformador. La potencia de la corriente del primario es igual a la del secundario, pero la intensidad y potencial de ambas son diferentes.

La teoría de estos aparatos demuestra que la potencia de las dos corrientes es la misma:

$$I_1 E_1 = I_2 E_2$$

y que la relación entre sus fuerzas electromotrices es igual a la del número de espiras de los respectivos arrollamientos, o sea que:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

La corriente producida en el segundo arrollamiento es por tanto de una intensidad menor aunque su fuerza electromotriz (o diferencia de potencial a la salida del transformador) es mayor que la que llega al primer arrollamiento, tanto mayor cuanto mayor sea el número de espiras que tenga aquel arrollamiento.

Esta corriente de elevado potencial (corriente de alta tensión) se transporta a grandes distancias con poca pérdida de energía, pero como su empleo para usos corrientes entraña grave peligro, antes de darla al consumo se transforma de nuevo, convirtiéndola en otra de potencial bajo que puede usarse sin cuidado.

Como se desprende de lo dicho, esta transformación sólo puede hacerse con corriente alterna, siendo ésta la razón de que la corriente universalmente empleada para toda clase de usos industriales y domésticos, sea la alterna.

Ejercicios

Decir qué se entiende por corrientes inducidas y cómo se producen.

¿Cómo son las corrientes inducidas en cuanto a su duración y sentido?

¿Cuál es el fundamento de las dínamos y de los alternadores? ¿Para qué sirven estos aparatos?

¿Qué son transformadores y cuál es su fundamento? ¿Para qué se emplean los transformadores?

Problema

Un transformador tiene 500 espiras en el primario y 50 en el secundario. Por el primario circula una corriente alterna cuya f. e. m. es de 100 voltios y cuya intensidad es de 0,6 amp. Se desea saber: *a*) La f. e. m. de la corriente del secundario. *b*) Su intensidad. (Resp.: $E_2 = 10$ V; $I_2 = 5$ A.)

QUIMICA

27. CLASES DE SUSTANCIAS. ESTRUCTURA ATÓMICA DE LA MATERIA

Mezclas y cuerpos puros. — Existen en la Naturaleza infinidad de sustancias, muchísimas de las cuales manejamos continuamente y nos son familiares. Pero a poco que nos fijemos en las sustancias que podemos someter a nuestra observación, vemos que unas pueden fraccionarse en partes o porciones diferentes unas de otras por medios físicos sencillos, mientras otras resisten toda tentativa de hacerlo.

Tomemos un ejemplo sencillo. El agua de distintas procedencias tiene en general diferente sabor; el agua de mar es salada, el agua de lluvia es insípida, el agua potable tiene un ligero sabor característico. Si en un recipiente cualquiera ponemos a hervir una porción de agua natural y conducimos sus vapores a un matraz refrigerado exteriormente, en él se condensarán y al cabo de cierto tiempo tendremos en él una parte del agua que pusimos en el primer recipiente. Esta operación recibe el nombre de destilación.

Pues bien, si operamos con aguas naturales de diferente procedencia, procurando no recoger las primeras ni las últimas porciones del agua destilada se puede comprobar:

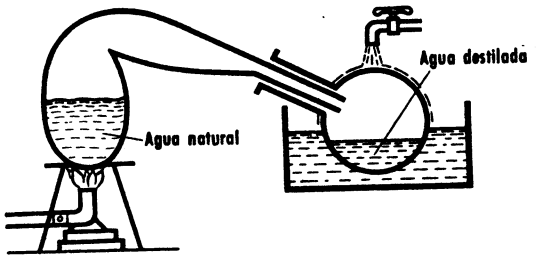
1. El agua destilada es, en general, diferente del agua natural de que procede.

2. El agua destilada es idéntica, cualquiera que sea el agua natural de que procede.

3. Si se vuelve a destilar el agua destilada obtenida, no se observa ninguna diferencia entre el agua destilada una vez y la destilada dos veces.

El agua destilada, que es siempre igual a sí misma, y que no puede fraccionarse en porciones distintas, decimos que es un *cuerpo puro*. Las aguas naturales no son, en cambio, cuerpos puros; se dice que son *mezclas*.

Si sometemos a destilación un líquido cualquiera y obtenemos un destilado diferente del líquido de partida, se puede asegurar que éste es una mezcla. Sin embargo, cuando el destilado es idéntico al líquido primitivo, no siempre se puede asegurar que se trata de un cuerpo puro. Hay mezclas que destilan como tales y dan un destilado igual al líquido de partida,



El agua natural y el agua destilada son diferentes. El agua natural no es cuerpo puro, y el agua destilada, sí.

como sucede con una disolución de ácido clorhídrico en agua al 20 por 100.

No obstante, existen otros medios de fraccionamiento que no mencionaremos ahora, que constituyen los *procedimientos de análisis inmediato,* a los que se puede someter una sustancia para asegurarse de que es o no pura.

Las sustancias que resisten todos los intentos de fraccionamiento por los métodos de análisis inmediato se denominan cuerpos puros.

Todas las sustancias que no son cuerpos puros son mezclas.

Características del cuerpo puro. — No es necesario, en general recurrir a todos los procedimientos de fraccionamiento posibles para, tras el fracaso de todos ellos, asegurar que una sustancia es un cuerpo puro. Esto sería largo y difícil. Los cuerpos puros poseen una serie de propiedades físicas y químicas bien determinadas que permite reconocerlos con facilidad. De modo general, todos los cuerpos puros:

1. *Tienen un punto de ebullición fijo, que permanece invariable mientras dura la ebullición.*

2. *Tienen un punto de solidificación (o fusión) fijo, que permanece invariable mientras dura la solidificación (o la fusión).*

3. *Si la presión varía, el punto de ebullición cambia, pero el líquido destilado tiene siempre idéntica composición e iguales propiedades.*

No basta que un cuerpo presente una de estas tres características para que se pueda asegurar que es un cuerpo puro (ya se ha dicho que una disolución acuosa de ácido clorhídrico al 20 % hierve a temperatura constante mientras la presión no varía), pero sí puede asegurarse cuando presenta las tres características dichas.

Hay que hacer notar, que cuando un cuerpo está impurificado por otro que se encuentra en muy pequeña proporción, sus puntos de fusión o de ebullición se modifican muy poco con respecto al cuerpo puro, y por tanto puede aparecer como cuerpo puro sin serlo. Esto prueba que la noción experimental de cuerpo puro, tal como la hemos definido, está estrechamente ligada a la precisión de los métodos de investigación.

Características de las mezclas. — Las mezclas se reconocen fácilmente por alguna de las características siguientes:

1. Si la mezcla es heterogénea, está formada por la yuxtaposición de sustancias diferentes que se distinguen a simple vista o con auxilio de una lente. Es el caso del granito.

2. Si la mezcla es homogénea:

a) Durante la fusión la temperatura varía.

b) Durante la ebullición la temperatura varía y los primeros vapores desprendidos, una vez condensados, dan un líquido diferente en su composición del líquido de que se parte.

c) Disolviendo la presunta mezcla en un disolvente apropiado, se obtiene después, por evaporación del disolvente, un cuerpo diferente del primitivo. Esto ocurre porque el disolvente elegido disuelve uno de los componentes de la mezcla y no los demás.

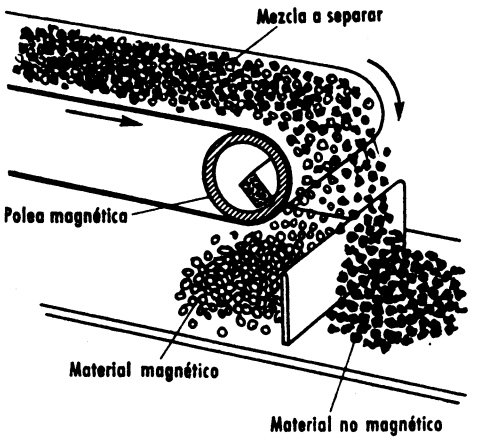
Análisis inmediato. — *La separación de los componentes de una mezcla y la identificación de los mismos recibe el nombre de análisis inmediato.* Esta operación es a veces delicada y requiere cierta experiencia por parte del investigador, puesto que las operaciones realizadas pueden provocar la alteración o la pérdida de alguno de los componentes, que en este caso no se identifica o se identifica de manera defectuosa. Así, por ejemplo, si se quiere separar el azúcar del agua en que está disuelta, puede hacerse evaporando el agua a baja temperatura, pero si se calienta demasiado, el azúcar se carameliza o se descompone y el análisis resulta falso. Por esta razón para asegurar que un análisis inmediato está bien hecho es preciso que la mezcla de los cuerpos encontrados en la proporción determinada por el análisis, dé lugar a la sustancia inicial con sus mismas características.

En la separación de los componentes de una mezcla se pueden dar diferentes casos.

Separación de dos sólidos. — Cuando una mezcla está formada por dos sólidos siempre resulta heterogénea y su separación resulta sencilla.

Unas veces la separación puede hacerse a mano, cuando el tamaño de las partículas lo permite. Otras la mezcla de los sólidos se trata por un líquido, cuya densidad está comprendida entre la de los dos sólidos con lo que uno flota y otro se va al fondo. Muchas veces la mezcla se somete a la acción de una corriente de agua (levigación) o a una corriente de aire (ventilación) que arrastra preferentemente al cuerpo más ligero. Algunas veces, cuando uno de los componentes tiene propiedades magnéticas se somete a la acción de un separador magnético, que atrae un componente y no al otro.

La experiencia y el conocimiento de las propiedades de los componentes aconsejan en cada caso el método más conveniente.

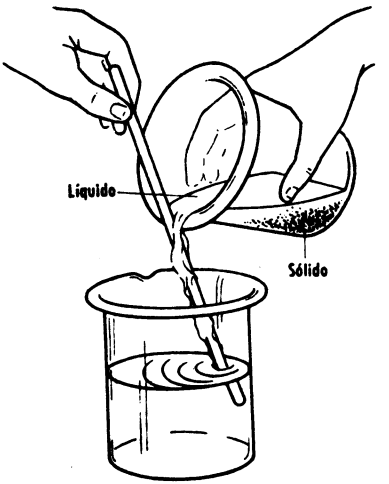


Separador magnético para una mezcla de dos minerales, uno de los cuales tiene propiedades magnéticas.

Separación de un sólido de un líquido. — Si la mezcla está formada por un sólido suspendido en un líquido, la mezcla es también heterogénea y la separación se realiza fácilmente por *decantación* o por *filtración.*

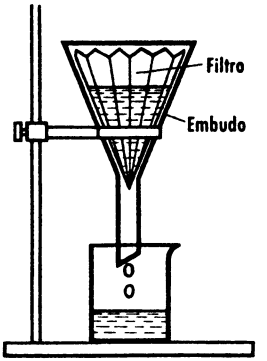
La *decantación* consiste en dejar reposar la mezcla, hasta que el sólido, de mayor densidad, se deposita en el fondo. Entonces, se separa con cuidado el líquido que sobrenada.

La *filtración* consiste en hacer pasar la mezcla de sólido y líquido a través de un filtro de papel, de tela, de porcelana porosa, de fibras de amianto, de arena, etc., a través de cuyos poros pasa el líquido mientras



Cuando una mezcla contiene un líquido y un sólido, pueden separarse dejando depositar el sólido y transvasando cuidadosamente el líquido que sobrenada.

La filtración permite separar un líquido de las partículas sólidas que contenga.



retiene las partículas sólidas. La naturaleza del filtro depende de la cantidad a filtrar y de la naturaleza del líquido y tamaño de las partículas del sólido que forman la mezcla.

Separación de dos líquidos no miscibles. — Cuando se trata de dos líquidos no miscibles, basta poner la mezcla en reposo algún tiempo para que se separen los líquidos en capas por orden de densidades. Entonces se separan fácilmente por decantación.

Separación de dos líquidos miscibles por destilación fraccionada. — Cuando la mezcla está formada por dos líquidos miscibles, la destilación hace que primeramente se desprendan los vapores del líquido más volátil y después los del líquido menos volátil. Sin embargo, la separación por medio de una destilación sencilla no es completa, debido a que los vapores ligeros van siempre acompañados por cierta cantidad de vapores del líquido menos volátil y viceversa, por lo que se recurre a una *destilación fraccionada.*

En la *destilación fraccionada* se hace que los vapores que se desprenden, antes de llegar a la parte del aparato donde se condensan, atraviesan una columna rectificadora, en la que atraviesan el líquido formado por condensación de vapores primeramente producidos. De este modo:

a) Los vapores se enfrían y mientras las partes menos volátiles pasan al estado líquido y vuelven a la caldera, las partes más volátiles escapan a la condensación y salen de la columna rectificadora condensándose luego en el refrigerante.

b) Los líquidos primeramente condensados a través de los cuales pasan las nuevas porciones de vapor, se calientan lo que permite que la parte más volátil de ellos pase a vapor y sean arrastrados poco a poco hasta el refrigerante.

Con este procedimiento se consigue que sólo lleguen a la parte alta de la columna rectificadora la parte más volátil de la mezcla, y sólo cuando ésta ha pasado por completo puede llegar a ella otra porción menos volátil. Un termómetro situado en la parte alta de la columna rectificadora indica continuamente la temperatura de ebullición del líquido que está recogiéndose en cada momento.

Además de los procedimientos de análisis inmediato indicados, existen otros, como la *disolución selectiva, congelación fraccionada, dialisis*, etc., sobre los cuales no podemos entrar en detalles.

Cuerpos simples y compuestos. — Los cuerpos puros pueden someterse también a la acción de diversos agentes físicos o químicos, y frente a ellos presentan en general diverso comportamiento: Unos cuerpos se desintegran o descomponen en dos o más componentes mientras otros permanecen inalterables.

Así, cuando se somete a la temperatura de 400° al óxido de mercurio, se escinde en dos nuevas sustancias, un metal líquido con brillo de plata, llamado mercurio, que se deposita en las partes frías del aparato en que se opera, y un gas incoloro que aviva las combustiones que resulta ser el oxígeno. Por otra parte, si se calientan el oxígeno y el mercurio a unos 300° se vuelve a obtener la sustancia primitiva óxido de mercurio. En cambio, estas dos sustancias, mercurio y oxígeno, no pueden descomponerse en otras más sencillas por ninguno de los procedimientos físicos o químicos usuales.

Las sustancias que pueden descomponerse en otras más sencillas reciben el nombre de sustancias compuestas o combinaciones. Las que no pueden escindirse en otras, reciben el nombre de sustancias simples o elementos químicos.

Los cuerpos simples que existen en la naturaleza son muy poco numerosos, del orden de la centena. Los cuerpos compuestos conocidos son numerosísimos, cientos de miles.

Teoría atómico-molecular. — Para dar una explicación satisfactoria a una serie de hechos conocidos desde muy antiguo, fue emitida por el químico Dalton una hipótesis, universalmente aceptada hoy, que constituye una teoría fundamental en el estudio de la química.

Admite la *hipótesis de Dalton*, que *la materia es discontinua, es decir, está formada por partículas pequeñísimas indivisibles llamadas átomos.* Supone también que *los átomos se agrupan en complejos, a los cuales se les da el nombre de moléculas.*

Todas las moléculas de una sustancia son iguales entre sí. Las moléculas de los cuerpos simples están formadas por átomos de la misma especie, y las de los compuestos, por átomos de distintas clases.

Según esto, los cuerpos no se forman por la agrupación informe de

átomos, sino que éstos están unidos según leyes determinadas formando moléculas.

Las moléculas son las partes más pequeñas de un cuerpo que pueden existir de un modo independiente conservando todas las propiedades características de la materia a que pertenecen. Cuando una molécula se divide en partes menores, éstas ya no conservan las propiedades de la molécula completa.

Los átomos son la parte más pequeña de materia que puede pasar de un cuerpo a otro en una reacción química.

Las moléculas no están en contacto unas con otras, sino que se hallan separadas por distancias más o menos grandes, y no se encuentran fijas unas en relación a otras, sino que se mueven en todas direcciones (gases y líquidos), o cuando menos están sometidas a un movimiento de oscilación alrededor de una posición media de equilibrio (sólidos).

Los átomos, a su vez, tienen un movimiento vibratorio dentro de las moléculas, aunque no pueden moverse libremente.

Existen por tanto tantas clases de átomos como cuerpos simples y tantas clases de moléculas como cuerpos compuestos se conocen.

Por combinación de los átomos de diversas clases y en número variable, se obtienen todas las clases de moléculas.

Estructura del átomo. — Modernamente se ha podido comprobar que los átomos no son, como suponía la primitiva hipótesis de Dalton, indivisibles, sino que por el contrario están formados por otras partículas menores, organizadas en el interior del átomo de manera bastante bien conocida en la actualidad.

Aunque no podemos entrar en un estudio detallado de la estructura de los átomos, nos bastará decir que éstos tienen dos partes esenciales: el núcleo y la corteza.

El *núcleo* o parte central del átomo ocupa una parte insignificante del volumen del mismo. En él se encuentra la casi totalidad del peso del átomo y está formado por dos clases de partículas llamadas *neutrones* y *protones*.

La *corteza atómica* está formada por una o varias capas de *electrones* que envuelven el núcleo, y de ella, especialmente de la más exterior de estas capas de electrones, dependen las propiedades químicas del átomo y por tanto del elemento químico a que pertenece.

Basta una pequeña modificación en la estructura de la corteza atómica para que el átomo cambie por completo sus propiedades, es decir, para que se convierta en un átomo diferente. Así, por ejemplo, la diferencia entre un átomo de helio y un átomo de litio no es más que la existencia en este último de un nuevo electrón que no existía en el primero. Mientras el primero es un gas noble sin actividad química, el segundo es un metal sumamente activo desde el punto de vista químico.

Ejercicios

¿Qué es una mezcla y qué es un cuerpo puro? ¿Cómo puede saberse si una sustancia es una mezcla o un cuerpo puro?

¿Cuáles son las características del cuerpo puro? ¿Cuáles las de las mezclas?

¿Qué es y para qué sirve el análisis inmediato? ¿Qué procedimientos de análisis inmediato conoces? Describe sucintamente algunos de ellos

¿Qué son cuerpos simples y compuestos? Poner ejemplos.

¿Cuáles son los puntos esenciales de la teoría atómico-molecular?

¿Cómo está formado el átomo de un elemento? ¿Cuáles son sus elementos constitutivos?

28. SUSTANCIAS SIMPLES. PESOS ATÓMICOS. VALENCIA ATÓMICA

Clasificación de los elementos químicos: metales y metaloides. — Todos los elementos químicos pueden reunirse en dos grupos: el de los *metales* y el de los *metaloides o no metales.*

De los metales hemos de ocuparnos detenidamente en otra lección. Se trata de un grupo de elementos cuyas propiedades se apartan mucho de las de los demás.

Sus propiedades más características son: su plasticidad, que permite deformarlos en el forjado; su tenacidad, por la que resisten las deformaciones sin fractura. Como consecuencia de ambas propiedades, los metales son dúctiles y maleables, es decir, pueden estirarse en hilos delgados y extenderse en láminas muy finas.

Poseen, además, brillo característico, llamado brillo metálico y son buenos conductores del calor y de la electricidad.

Los metaloides o elementos no metálicos no presentan ninguna de las propiedades indicadas antes para los metales. Este grupo está constituido por elementos de propiedades muy diferentes que no permiten establecer un criterio único válido para todos ellos.

Hay algunos elementos que pueden, por sus propiedades, incluirse en uno u otro grupo, pues se presentan unas veces bajo formas de propiedades metálicas y otras bajo formas de propiedades metaloideas. Esto prueba que realmente entre uno y otro grupo no hay una separación perfecta, por lo que más de metales y metaloides debe hablarse de estado metálico y estado no metálico.

Nombres y símbolos de los elementos químicos. — Los elementos químicos reciben nombres que obedecen a causas muy diferentes. Unas veces, el descubridor les ha dado un nombre que hace referencia al sitio en que se descubrieron, como sucede con el galio y el germanio, descubiertos en Francia y Alemania, respectivamente; otras, su nombre hace referencia a alguna de sus propiedades, como cloro, que significa amarillo verdoso; oxígeno, engendrador de ácidos, y hidrógeno, engendrador de agua. Otros han sido dedicados a los astros, como el selenio a la Luna, el teluro a la Tierra. En fin, algunos elementos tienen nombres completamente arbitrarios.

Cada elemento se representa por un símbolo que suele ser la inicial de su nombre griego o latino. Cuando varios elementos tienen la misma inicial, uno de ellos sigue la regla anterior y los símbolos de los demás se forman añadiendo a la inicial la primera vocal del nombre o la primera consonante si con la primera vocal ya se ha formado el símbolo de otro elemento. Así, el símbolo del oxígeno es O; el del flúor, F; el del hierro, Fe (de ferrum); el del azufre, S (de sulfur), etc.

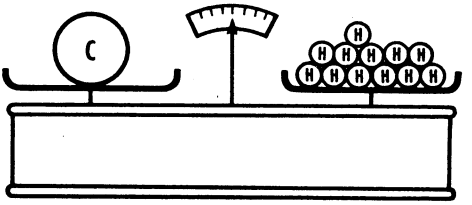
En la tabla de la página 216 pueden verse los nombres y símbolos de los elementos químicos.

Peso atómico de un elemento. — Los átomos son partículas materiales, y aunque de tamaño excepcionalmente pequeño, están dotadas de peso como cualquier cuerpo. Aunque se ha podido deducir el peso de los átomos y moléculas en gramos, en Química no es éste el peso que interesa, sino el que tienen medidos con una unidad adecuada. La unidad elegida fue el peso del átomo de hidrógeno, que es el más ligero de todos.

Se llama peso atómico de un elemento a la relación que existe entre el peso de un átomo del mismo y el de un átomo de hidrógeno.

Tomando como tipo de comparación el átomo de hidrógeno resultaba para el oxígeno un peso atómico de 15,872. Se vio posteriormente que era conveniente asignar al oxígeno el peso atómico 16 y tomar como unidad para comparar el peso de los demás átomos la deciseisava parte de ese peso, y así se hace actualmente. De aquí que el peso atómico del hidrógeno no sea la unidad, sino 1,008.

Así, pues, cuando decimos que el peso atómico del carbono es 12, queremos decir que un átomo de carbono pesa doce veces más que la dieciseisava



Decir que el peso atómico del carbono es 12 significa que un átomo de carbono pesa doce veces más que el átomo de hidrógeno, cuyo peso se toma como unidad.

parte del átomo de oxígeno, que es la unidad elegida para la determinación de pesos atómicos y moleculares. De la misma manera, cuando decimos que el peso atómico del cloro es 35,40, queremos decir que un átomo de este cuerpo pesa treinta y cinco con cuarenta veces más que aquella unidad elegida.

Valencia de los elementos. — Ya hemos dicho que los elementos químicos se reúnen para formar cuerpos compuestos y que según la clase y número de los elementos reunidos, resultan los diversos compuestos.

En la formación de una molécula, ya sea de un cuerpo simple o compuesto, entran por tanto dos o más átomos que se unen con arreglo a ciertas leyes y según su capacidad de combinación.

Se llama valencia química de un elemento a la capacidad de combinación de un átomo del mismo comparada con la del átomo de hidrógeno, cuya valencia se ha convenido que valga la unidad.

Cuando un elemento se combina con el hidrógeno en proporción de un átomo de este elemento para un átomo de hidrógeno, se dice que tiene valencia uno o que es monovalente.

Cuando un elemento se combina con el hidrógeno en proporción de un átomo de este elemento para dos de hidrógeno, se dice que es bivalente. Si se combina en proporción de un átomo del elemento por tres de hidrógeno, se dice que es trivalente. Si la proporción es de uno a cuatro, se dice que es tetravalente, etc.

La valencia de un elemento viene pues dada por el número de átomos de hidrógeno que se combinan con uno de aquél.

Cuando un elemento no se combina directamente con el hidrógeno, se estudia un compuesto suyo con otro elemento que se combina con el hidrógeno y se deduce su valencia de la relación que haya entre ellos.

Así, por ejemplo, en el compuesto llamado cloruro de hidrógeno, el cloro está unido al hidrógeno en la proporción de un átomo de cloro para cada átomo de hidrógeno. Se dice que la valencia del cloro es igual a la del hidrógeno, es decir, la valencia del cloro es uno.

El sodio no se une directamente con el hidrógeno, pero en cambio se une al cloro formando un cuerpo llamado cloruro de sodio, y lo hace en la proporción de un átomo de cloro para uno de sodio. Se dice que el sodio tiene igual valencia que el cloro y que el hidrógeno, es decir, que su valencia vale también uno.

El oxígeno, que se une al hidrógeno para formar el agua, en la proporción de un átomo de oxígeno para dos de hidrógeno, se dice que tiene valencia dos.

En la tabla se indica la valencia con que suelen actuar algunos elementos importantes.

VALENCIA DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

Hidrógeno: monovalente

Metales

Monovalentes: Na, K, Cu, Ag.
Bivalentes: Mg, Ca, Zn, Ba, Hg.
Trivalentes: Al, Fe.
Tetravalentes: Pb

Metaloides

Monovalentes: F, Cl, Br, I.
Bivalentes: O, S.
Trivalentes: N, P.
Tetravalentes: C, Si.

Algunas veces los elementos indicados actúan con valencia distinta a la señalada.

Ejercicios

¿Cuáles son las propiedades características del estado metálico? Citar algunos metales y algunos metaloides.

¿Qué es el símbolo de un elemento? ¿Cómo se forman los símbolos de los elementos? ¿A qué elementos corresponden los siguientes símbolos: H, Na, K, Ca, Mg, Al, C, N, O, S, Cl, Br, Fe?

¿Qué se entiende por peso atómico de un elemento? ¿Qué unidad se usa para la determinación de pesos atómicos?

¿A qué se llama valencia química de un elemento? ¿Qué valencia tienen los siguientes elementos: H, Na, Ag, Ca, Mg, Al, Cl, Br, O, N, C?

TABLA DE PESOS ATOMICOS DE LOS ELEMENTOS

Oxígeno. —16,000

ELEMENTO	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO	ELEMENTO	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO
Aluminio	Al	26,97	Iterbio	Yb	173,04
Antimonio	Sb	121,76	Lantano	La	138,92
Argón	Ar	39,944	Litio	Li	6,940
Arsénico	As	74,93	Lutecio	Lu	175,0
Azufre	S	32,06	Magnesio	Mg	24,32
Bario	Ba	137,36	Manganeso	Mn	54,93
Berilio	Be	9,02	Mercurio	Hg	95,95
Bismuto	Bi	209,00	Molibdeno	Mo	200,61
Boro	B	10,82	Neodimio	Nd	144,27
Bromo	Br	79,916	Neón	Ne	20,183
Cadmio	Cd	112,41	Níquel	Ni	58,69
Calcio	Ca	40,08	Niobio	Nb	93,3
Carbono	C	12,010	Nitrógeno	N	14,008
Casiopeo	Cp	175	Nitón	Nt	222
Cerio	Ce	140,13	Oro	Au	197,2
Cesio	Cs	132,91	Osmio	Os	190,8
Cinc	Zn	65,38	Paladio	Pd	106,7
Circonio	Zr	91,22	Plata	Ag	107,880
Cloro	Cl	35,457	Plomo	Pb	195,23
Cobre	Cu	58,94	Platino	Pt	207,22
Cobalto	Co	63,57	Potasio	K	39,096
Criptón	Kr	83,7	Praseodimio	Pr	140,92
Cromo	Cr	52,01	Radio	Ra	226,05
Dysprosio	Dy	162,46	Rodio	Rh	102,91
Estroncio	Sr	87,63	Renio	Re	186,31
Erbio	Er	167,2	Rubidio	Rb	85,48
Escandio	Sc	45,10	Rutenio	Ru	101,7
Estaño	Sn	118,70	Samario	Sa	150,43
Europio	Eu	152,0	Selenio	Se	78,962
Flúor	F	19,00	Silicio	Si	28,06
Fósforo	P	30,98	Sodio	Na	22,997
Gadolinio	Gd	157,3	Tántalo	Ta	180,88
Galio	Ga	69,72	Teluro	Te	127,61
Germanio	Ge	72,60	Terbio	Tb	159,2
Hafnio	Hf	178,6	Talio	Tl	204,39
Helio	He	4,003	Torio	Th	232,12
Hidrógeno	H	1,008	Tulio	Tu	169,4
Hierro	Fe	55,84	Titano	Ti	47,90
Holmio	Ho	164,94	Urano	U	238,07
Indio	In	114,8	Vanadio	V	50,95
Iodo	I	126,92	Wolframio	W	183,92
Iridio	Ir	193,1	Xenón	Xe	131,3
Itrio	Y	88,92			

29. SUSTANCIAS COMPUESTAS. FORMULACIÓN DE COMPUESTOS. REACCIONES QUÍMICAS

Representación de los átomos y de las moléculas. Fórmulas. — *Se ha convenido en representar gráficamente el átomo de un elemento por el símbolo de éste;* es decir, que cualquier símbolo de un elemento representa igualmente un átomo del mismo. Así, los símbolos O, S, F, Fe y C representan otros tantos átomos de los elementos oxígeno, azufre, flúor, hierro y carbono.

Las moléculas se representan gráficamente por una fórmula y la fórmula de un cuerpo es la representación gráfica de su molécula.

La fórmula de un cuerpo resulta de asociar los símbolos de los átomos que forman la molécula añadiendo a cada uno de ellos un subíndice que indica el número de átomos que intervienen en la misma, excepto cuando este número es la unidad, en cuyo caso no se escribe.

Así, la fórmula del cloruro potásico es ClK; la del cloruro sódico ClNa; la del cloruro de cobre, Cl_2Cu; la del agua, H_2O, y la del oxígeno, O_2.

A veces es necesario que las fórmulas expresen también la disposición de los átomos dentro de la molécula, para poder explicar ciertas propiedades y comportamientos. Esta clase de fórmulas se denominan *fórmulas desarrolladas.*

Peso molecular. — Las moléculas están integradas por átomos y, por tanto, están dotadas de peso. El peso de una molécula es, evidentemente, igual a la suma de los pesos de los átomos que la forman.

Se llama peso molecular de un cuerpo a la relación que existe entre el peso de una molécula del mismo y el peso de un átomo de hidrógeno.

Pero de igual manera que se convino tomar como unidad para la determinación de pesos atómicos la deciseisava parte del peso del átomo de oxígeno, que es ligeramente inferior al peso del átomo de hidrógeno, también se ha acordado tomar como unidad para la determinación de pesos moleculares esta misma unidad.

Así, cuando decimos que el peso molecular del oxígeno es 32, queremos decir que una molécula de este elemento pesa 32 veces más que la unidad elegida (aproximadamente 32 veces más que el átomo de hidrógeno). Cuando decimos que el peso molecular del cloro es 70,90 queremos indicar

que una molécula de este elemento pesa setenta con noventa veces más que la unidad elegida para la determinación de pesos atómicos y moleculares.

Determinación del peso molecular de un cuerpo conociendo su fórmula y los pesos atómicos de los elementos que la integran. — Conociendo la fórmula de un cuerpo y los pesos atómicos de todos los elementos que en ella intervienen, su peso molecular se halla sumando los pesos atómicos de dichos elementos, multiplicado cada cual por el subíndice que le corresponde en la fórmula.

Así, por ejemplo, sabiendo que la fórmula del cloruro de cobre es Cl_2Cu y que los pesos atómicos del cloro y del cobre son, respectivamente, 35,45 y 63,54 el peso molecular de aquel compuesto será:

$$(35{,}45 \times 2) + 63{,}54 = 135{,}44,$$

ya que esta molécula se compone de dos átomos de cloro y uno de cobre.

Concepto de átomo gramo y molécula gramo. — *Recibe el nombre de átomo gramo de un elemento el número de gramos del mismo igual a su peso atómico.*

Así, por ejemplo, 16 gramos de oxígeno son un átomo gramo de este elemento porque el peso atómico del oxígeno es 16. Por igual razón, 12 gramos de carbono y 35,45 gramos de cloro son, respectivamente, un átomo gramo de carbono y de cloro.

Recibe el nombre de molécula gramo o mol de un cuerpo el número de gramos del mismo igual a su peso molecular.

Así, por ejemplo, 32 gramos de oxígeno constituye una molécula gramo o mol de ese elemento, porque el peso molecular del oxígeno es 32. Por igual razón, 70,9 gramos de cloro y 36,46 gramos de ácido clorhídrico constituyen, respectivamente, una molécula gramo de cloro y de ácido clorhídrico.

Equivalente gramo y equivalente químico de un elemento. — *Recibe el nombre de equivalente gramo de un elemento la cantidad en gramos del mismo que se combina con el átomo gramo de hidrógeno. El número abstracto correspondiente recibe el nombre de equivalente químico.*

Así, por ejemplo, el cloro se combina con el hidrógeno para formar el ácido clorhídrico, y lo hace en la proporción de 35,45 gramos de cloro para cada 1,008 gramos de hidrógeno. Por tanto, 35,45 gramos de cloro constituyen un equivalente gramo de cloro y el equivalente químico de este elemento será 35,45. De igual manera, puesto que el oxígeno se combina con el hidrógeno para formar agua en la proporción de 8 gramos de oxí-

geno por cada 1,008 gramos de hidrógeno, 8 gramos de oxígeno constituyen un equivalente gramo de oxígeno, y el número abstracto 8 indicará su equivalente químico.

Cuando un elemento no se combina con el hidrógeno, su equivalente gramos se halla averiguando la cantidad de este elemento que se combina con un equivalente gramo de otro elemento. Así, por ejemplo, el magnesio no se combina con el hidrógeno, pero sí lo hace con el cloro. Pues bien, como 35,45 gramos de cloro se combinan con 1,008 gramos de hidrógeno y, a su vez, 12,16 gramos de magnesio se combinan con 35,45 gramos de cloro, 12,16 gramos de magnesio constituirán un equivalente gramo de magnesio, y este mismo número indicará el valor del equivalente químico de dicho elemento.

Radicales químicos. — Existen agrupaciones de átomos cuya presencia se observa en diversas clases de moléculas, los cuales entran o salen de ellas, pasan de unas moléculas a otras, formando un todo como si se tratase de cuerpos simples.

Así, por ejemplo, la fórmula del ácido nítrico es NO_3H, la del nitrato sódico es NO_3Na, la del nitrato potásico es NO_3K, etc. En todas estas fórmulas se observa la presencia del grupo NO_3, y en muchas reacciones químicas este grupo sale de una molécula para entrar a formar parte de otra distinta. Sin embargo, los radicales no pueden existir libres.

Se llaman radicales químicos a los grupos atómicos que pueden entrar o salir de las combinaciones químicas como si se tratase de cuerpos simples pero que no se conocen en estado libre.

Algunos radicales químicos que pronto nos serán familiares son: El radical oxhidrilo, OH, que forma parte del agua y de todos los compuestos llamados genéricamente hidróxidos. El radical nitrato, NO_3, que forma parte del ácido nítrico y de los nitratos. El radical sulfato, SO_4, que forma parte del ácido sulfúrico y de los sulfatos. El radical carbonato, CO_3, que forma parte del ácido carbónico y de los carbonatos. El radical fosfato, PO_4, que forma parte del ácido fosfórico y de los fosfatos.

Como estos radicales están unidos en las moléculas de que forman parte con otros átomos, se les asigna una valencia igual al número de átomos de hidrógeno o de otros átomos monovalentes a los que son capaces de unirse.

Así, el radical oxhidrilo se une a un átomo de hidrógeno para formar una molécula de agua HOH, y a un átomo de sodio (monovalente), para formar una molécula de hidróxido de sodio NaOH, se dice que es monovalente. El radical NO_3, que se une a un átomo de hidrógeno para formar una molécula de ácido nítrico NO_3H, es también monovalente. El radical SO_4, que se une a dos átomos de hidrógeno para formar una molécula de ácido sulfúrico SO_4H_2, se dice que es bivalente. El radical PO_4, que forma el ácido fosfórico PO_4H_3, se dice que es trivalente.

Formulación de compuestos. — Las fórmulas de los compuestos que vamos a estudiar en Química Inorgánica, son generalmente sencillos y sus fórmulas son fáciles de escribir. Para escribir la fórmula de un compuesto, es necesario saber los elementos o radicales que la forman.

Cuando un compuesto está integrado por dos elementos o por un radical y otro elemento, su fórmula se forma escribiendo los símbolos de los dos elementos o el radical y el símbolo del otro elemento, y a cada uno de ellos se le pone un subíndice igual a la valencia del otro elemento o radical. Si el subíndice es igual a uno no se escribe.

Así, si sabemos que el cloruro de sodio está formado por cloro y sodio, escribiremos los símbolos de estos dos elementos, cada uno con un subíndice igual a la valencia del otro. Como los dos elementos son monovalentes, los subíndices serían la unidad y por tanto la fórmula será ClNa.

Si sabemos que el sulfato de aluminio está formado por el radical sulfato (bivalente) y el aluminio (trivalente), su fórmula se escribirá $(SO_4)_3Al_2$.

Reacciones químicas. Su expresión gráfica. — *Se da el nombre de reacción química a todo fenómeno que lleva consigo la formación de especies químicas distintas de las primitivas.*

Como las reacciones químicas se llevan a cabo entre moléculas, su representación gráfica debe realizarse con ayuda de fórmulas, por medio de ecuaciones químicas que expresen las transformaciones ocurridas en la reacción. En el primer miembro de la ecuación o igualdad química se escriben, separadas por signos +, las fórmulas de los cuerpos que intervienen en la reacción, y en el segundo miembro, las de los cuerpos que resultan de ella, separadas también por signos +. Ambos miembros se separan por un signo =.

Como la reacción no es sino una reagrupación de los átomos, el número de átomos de cada especie que haya en ambos miembros de la igualdad debe ser el mismo; para ello se ponen a las fórmulas de los diferentes cuerpos los coeficientes que sean necesarios.

Para escribir una ecuación química es necesario saber exactamente las fórmulas de los cuerpos que entran en la reacción y las de los cuerpos que resultan de la misma. Una vez escritos unos y otros separados por signos más y los dos miembros separados por el signo igual a, se procede, por tanteo, a poner los coeficientes necesarios para que sea igual el número de átomos de cada clase que haya en los dos miembros. Esta última operación de poner los coeficientes es tal vez la más difícil y sólo se aprende con la práctica.

Así, la reacción por la que el azufre y el hierro se combinan para formar sulfuro de hierro se expresa por la ecuación:

$$S + Fe = SFe$$

La de la descomposición del carbonato cálcico en anhídrido carbónico y óxido cálcico se expresa por la ecuación:

$$CO_3Ca = CaO + CO_2$$

Clasificación de las reacciones químicas. — Unas reacciones tienen lugar con sólo poner en contacto los cuerpos reaccionantes, mientras que otras requieren que se provoque la reacción de alguna forma.

Las reacciones químicas se dividen en primer lugar en *espontáneas y provocadas,* según que tengan lugar con sólo poner en contacto los cuerpos que reaccionan o que requieran la aportación de energía para iniciarla.

Ejemplo de reacción espontánea es la del ácido clorhídrico con el cinc:

$$2\,ClH + Zn = ZnCl_2 + H_2$$

y de provocada la del azufre con el hierro, que sólo tiene lugar cuando se calienta la mezcla reaccionante.

Las reacciones pueden ser también:

1.º *Reacciones de adición:* Cuando dos o más cuerpos se reúnen para formar un cuerpo más complejo; así, la producción de cloruro amónico a partir del ácido clorhídrico y el amoníaco:

$$ClH + NH_3 = ClNH_4$$

2.º *Reacciones de descomposición:* Cuando de un cuerpo se obtienen dos o más cuerpos más sencillos; por ejemplo, la descomposición del carbonato cálcico en anhídrido carbónico y óxido cálcico:

$$CO_3Ca = CO_2 + CaO$$

3.º *Reacciones de doble descomposición:* Son aquéllas en que el cambio de elementos o radicales entre los cuerpos reaccionantes da lugar a los nuevos compuestos; por ejemplo, la precipitación del sulfato de bario por la acción de otro sulfato soluble sobre una sal de bario:

$$SO_4Na_2 + Cl_2Ba = SO_4Ba + 2\,ClNa$$

4.º *Reacciones de sustitución*: En las cuales un elemento o radical es sustituido por otro en un compuesto, originándose así otro diferente; por ejemplo, la acción del ácido clorhídrico sobre el cinc, antes indicada:

$$2\,HCl + Zn = H_2 + Cl_2Zn$$

Unas veces, iniciada la reacción, no cesa mientras que uno de los cuerpos reaccionantes al menos no desaparece. Otras veces, en cambio, la reacción cesa cuando todavía se encuentran en presencia todos los cuerpos reaccionantes.

Las reacciones químicas se dividen pues en *totales* y *parciales.*

Se llaman reacciones totales aquellas que no cesan hasta que no desaparece al menos uno de los cuerpos que reaccionan. Se llaman reacciones limitadas o parciales, aquellas que cesan cuando aún se encuentran en presencia todos los cuerpos reaccionantes.

Es ejemplo de reacción total la del hidrógeno y oxígeno para formar agua:

$$2\,H_2 + O_2 = 2\,H_2O$$

y es parcial o limitada la del yodo con el hidrógeno para formar yoduro de hidrógeno:

$$I_2 + H_2 \rightleftharpoons 2\,HI$$

En las reacciones limitadas se suele sustituir el signo igual por una doble flecha.

Ley de la conservación de la materia o de Lavoisier. — Después de establecido el concepto de elemento químico, según el cual un elemento no puede ser destruido ni creado de nuevo, resulta que la cantidad total de elementos que entran en una reacción química no puede sufrir variación alguna y el peso total de los mismos tampoco.

Este hecho no fue reconocido cuando se estableció el concepto de elemento químico, porque en aquella época la Química sólo se ocupaba de la calidad de las sustancias reaccionantes y no de su cantidad. Más tarde, el químico Lavoisier lo hizo notar y enunció la ley de la conservación de la materia:

Cuando una reacción química tiene lugar de forma que durante ella no puede escapar ningún producto de la reacción, ni penetrar tampoco ninguno del exterior, el peso total de los cuerpos que reaccionan es igual al peso total de los cuerpos que resultan de la reacción.

La ley de la conservación de la materia ha sido después sometida a una rigurosa comprobación, pero no ha podido apreciarse desviación apreciable ni aun en las reacciones más violentas.

La Física moderna enseña, no obstante, que las reacciones que tienen lugar con desprendimiento de energía, deben realizarse con una pérdida de peso pero esta pérdida es demasiado pequeña para que pueda ponerse de manifiesto por los medios de que se dispone actualmente.

Ejercicios

¿Qué es la fórmula de una sustancia? ¿Cómo se forma la fórmula de un cuerpo?

¿Qué es el peso molecular de un cuerpo? ¿Cómo se determina conociendo su fórmula y los pesos atómicos de los elementos que la forman?

¿Qué se entiende por átomo gramo y molécula gramo de un elemento o de un cuerpo (simple o compuesto) respectivamente?

¿Qué es una reacción química y cómo se expresa gráficamente? Póngase algún ejemplo sencillo.

¿Cómo se clasifican las reacciones químicas? Póngase ejemplos de los diferentes tipos de reacción.

Enúnciese la ley de la conservación de la materia y explíquese su significado, poniendo algún ejemplo.

30. HIPÓTESIS DE AVOGADRO. TEORÍA DE LA IONIZACIÓN

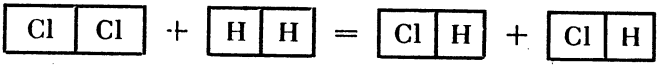
Hipótesis de Avogadro. — Experimentalmente se había encontrado que cuando dos cuerpos gaseosos reaccionan para formar otro cuerpo también gaseoso, existe siempre una relación sencilla entre la suma de los volúmenes de los gases reaccionantes y el volumen del gas que resulta de la reacción, siempre que unos y otros se midan en iguales condiciones de presión y temperatura.

Así, por ejemplo, se sabe que cuando reaccionan dos volúmenes iguales de hidrógeno y de cloro, se obtiene un volumen de cloruro de hidrógeno doble del de cualquiera de sus componentes. La relación entre la suma de los volúmenes de cloro e hidrógeno y el volumen de cloruro de hidrógeno es de 2:2.

Cuando reaccionan dos volúmenes de hidrógeno con uno de oxígeno, forman agua, que en estado de vapor y en igualdad de presión y temperatura, ocupa un volumen igual al de oxígeno que reaccionó. La relación entre la suma de los volúmenes de hidrógeno y de oxígeno y el del agua formada es de 3:2.

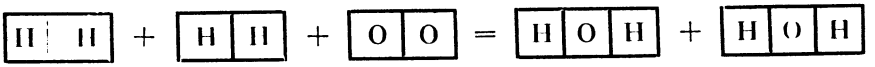
Para interpretar la ley volumétrica enunciada (Ley de Gay-Lussac) el químico italiano Avogadro, dio a conocer una hipótesis que luego ha sido confirmada plenamente y que se conoce con el nombre de Ley de Avogadro, que dice: *En igualdad de condiciones de volumen, presión y temperatura, todos los gases contienen el mismo número de moléculas.*

Refiriéndonos a los ejemplos anteriores, resulta que cuando se combina una molécula de cloro, que consta de dos átomos, con otra de hidrógeno, que contiene otros dos, se forman dos moléculas de cloruro de hidrógeno, cada una con un átomo de cloro y otro de hidrógeno



y por consiguiente al reaccionar un litro de cloro con otro de hidrógeno, cada uno de los cuales conteniendo n moléculas, se forman $2n$ moléculas de cloruro de hidrógeno, que ocupan un volumen de dos litros.

En el segundo ejemplo, si reaccionan un litro de oxígeno que tiene n moléculas de ese gas, con dos litros de hidrógeno que contienen $2n$ moléculas, se forman dos litros de vapor de agua que contienen $2n$ moléculas de este cuerpo, debido a que dos moléculas de hidrógeno se unen a una de oxígeno para formar dos moléculas de vapor de agua.



La ley de Avogadro tiene extraordinaria importancia y de ella se deducen importantes consecuencias.

Volumen molar. Número de Avogadro. — Se ha comprobado experimentalmente que una molécula gramo de cualquier cuerpo gaseoso o gasificable, en condiciones normales de presión y temperatura, es decir, a la presión de una atmósfera y temperatura de cero grados centígrados, ocupa siempre el mismo volumen de 22,412 cm^3, llamado *volumen molar.*

En consecuencia se puede definir también la molécula gramo de un cuerpo como la masa en gramos de dicho cuerpo que, en estado gaseoso y condiciones normales de presión y temperatura, ocupa un volumen de 22,412 cm^3.

Como consecuencia inmediata de lo dicho, se deduce que una molécula gramo de cualquier cuerpo contiene el mismo número de moléculas. Ese número se ha calculado por medios que no podemos exponer aquí y se ha visto que vale $6{,}023 \cdot 10^{23}$. Este número recibe el nombre de *número de Avogadro.*

Densidad de una masa gaseosa. — En uno de los capítulos de la primera parte de este libro, estudiamos la densidad de los cuerpos sólidos y líquidos, que era, según vimos, la relación entre la masa de un cuerpo sólido o líquido y la masa de un volumen igual de agua, cuya densidad se toma como unidad.

La densidad de los cuerpos gaseosos tiene igual significado, pero en este caso la densidad se expresa en relación al aire y algunas veces al hidrógeno.

Se llama densidad relativa de un gas, a la relación o cociente entre la masa de un volumen de dicho gas y la masa de un volumen igual de aire (o de hidrógeno) medidos en condiciones normales de presión y temperatura.

Como según se ha encontrado experimentalmente, la masa de 22,412 cm^3 de aire es de 29 gramos y la masa de un volumen igual de un gas cualquiera es una molécula gramo y, por tanto, igual a su peso molecular, resulta que la densidad relativa de un gas con relación al aire es igual a su peso molecular dividido por veintinueve, o sea:

$$\frac{Pm}{29} = D_a$$

Determinación del peso molecular de una sustancia gaseosa o gasificable. — De acuerdo con lo expuesto anteriormente, para determinar el peso molecular de un cuerpo gaseoso, bastaría con pesar una cantidad de ese gas que, en condiciones normales de presión y temperatura, ocupa un volumen de 22,412 cm^3. El peso en gramos de dicho volumen de gas expresaría también su peso molecular.

El peso molecular de un cuerpo gaseoso puede determinarse también investigando por alguno de los procedimientos posibles la densidad del gas con respecto al aire. Entonces de la fórmula $D_a = \frac{Pm}{29}$, se deduce que

$$Pm = D_a \cdot 29$$

es decir, que el peso molecular de un cuerpo gaseoso es igual al producto de su densidad relativa al aire por 29

Frecuentemente, se determina el peso molecular de un cuerpo gaseoso o fácilmente gasificable, acudiendo a la ecuación general de los gases estudiada en Física. Efectivamente, aquella fórmula es:

$$P \cdot V = P_0 \cdot V_0 \cdot \frac{T}{T_0} \qquad \text{o sea} \qquad P \cdot V = \frac{P_0 \cdot V_0}{273} \cdot T$$

El producto $P_0 \cdot V_0$ es, según la ley de Boyle y Mariotte, una cantidad constante, pero este valor depende de la masa de gas que se tome. Ahora bien, si se opera con una masa de gas de 22,412 litros, medidos a 0° centígrados y a la presión de una atmósfera, el valor del cociente $\frac{P_0 \cdot V_0}{273}$ es una constante universal que se designa por R y recibe el nombre de constante de los gases perfectos. Entonces la ecuación general de los gases toma la forma

$$P \cdot V = R \cdot T,$$

conocida por fórmula de Clapeyron.

Si en lugar de tomar una molécula gramo de gas, se tomasen dos, tres, etcétera, moléculas gramo, el segundo miembro de la igualdad anterior vendría multiplicado por 2, 3, etc. Y si se toma una masa de m gramos de gas, siendo Pm su peso molecular, el número de moléculas gramo tomadas será $\frac{m}{Pm}$ y entonces la ecuación general de los gases se expresaría por:

$$P \cdot V = \frac{m}{Pm} \cdot R \cdot T$$

de donde:

$$Pm = m \cdot \frac{R \cdot T}{P \cdot V}$$

Es decir, que se puede averiguar el peso molecular de un cuerpo gaseoso gasificable, pesando una masa de dicho gas y midiendo su volumen, su presión y su temperatura y sustituyendo dichos valores en la fórmula anterior.

Cuando la presión se mide en atmósferas y el volumen en litros, el valor de la constante de los gases perfectos vale $R = 0{,}082$.

Distintos significados de las fórmulas. — Las fórmulas de los compuestos químicos tienen primeramente un significado que ya conocemos: nos indican el número y clase de átomos de los elementos que la forman. Pero tienen, además, otros significados muy útiles en Química, que vamos a estudiar a continuación.

Conocida la fórmula de un cuerpo, conocemos también su peso molecular, que es igual a la suma de los pesos atómicos de cada elemento multiplicado por el subíndice correspondiente.

Conocido el peso molecular de un cuerpo, sabemos también qué cantidad del mismo es una molécula gramo y se trata de un cuerpo gaseoso o gasificable, sabemos también qué cantidad de éste, a temperatura y presión ordinaria, ocupa el volumen de 22,4 litros.

Cálculos ponderales y volumétricos. — Conocidos los significados de las fórmulas antes dichos y las ecuaciones químicas que expresan las reacciones químicas, pueden resolverse una serie de problemas interesantes tanto en la industria como en el laboratorio.

Sea, por ejemplo, la reacción entre el hidrógeno y el cloro:

$$Cl_2 + H_2 = 2\,ClH$$

Esta ecuación nos indica que una molécula de cloro se combina con otra de hidrógeno para dar dos moléculas de ácido clorhídrico y, por tanto, también que una molécula gramo de cloro se combina con una molécula gramo de hidrógeno para dar dos moléculas gramo de ácido clorhídrico. Y recordando el significado de molécula gramo y también el volumen que ocupa una molécula gramo de un cuerpo en estado gaseoso, resulta que podremos afirmar que 71 g de cloro se combinan con 2 g de hidrógeno y forman 73 g de ácido clorhídrico, y también que 22,4 litros de cloro reaccionan con 22,4 litros de hidrógeno y forman 44,8 litros de ácido clorhídrico.

En la reacción del hidrógeno con el oxígeno para formar agua, según la ecuación

$$2\,H_2 + O_2 = 2\,H_2O,$$

podremos decir que una molécula gramo de oxígeno se combina con dos moléculas gramo de hidrógeno para formar dos moléculas gramo de agua, y por tanto, 32 g de oxígeno se combinan con cuatro de hidrógeno y forman 36 g de agua. En volumen será 22,4 litros de oxígeno para 44,8 de hidrógeno y para formar 44.8 litros de agua en estado gaseoso.

Así se puede averiguar la cantidad de uno de los cuerpos que toman parte o que se forman en una reacción conociendo la ecuación que expresa la reacción y las cantidades de los demás, sin más que establecer una sencilla regla de tres simple.

Por ejemplo: ¿Cuántos gramos de agua obtendremos con 100 g de hidrógeno?

Como sabemos que 4 g de H proporcionan 36 g de H_2O, estableceremos la siguiente proporción:

Si 4 g de H dan 36 g de agua
100 g de H darán x g de agua

de donde resulta que:

$$x = \frac{36 \cdot 100}{4} = 900 \text{ g de agua.}$$

Lo mismo se resuelven problemas cuando se trata de volúmenes. Así, por ejemplo: ¿Cuántos litros de oxígeno se necesitan para obtener 1000 litros de vapor de agua?

Como sabemos que 22,4 litros de O dan 44,8 litros de vapor de agua, establecemos la siguiente proporción:

Si 22,4 litros de O dan 44,8 litros de vapor de agua
x litros de O darán 1000 litros de vapor de agua

de donde:

$$x = \frac{22{,}4 \cdot 1000}{44{,}8} = 500 \text{ litros de oxígeno.}$$

Teoría de la ionización. Iones. — Cuando estudiamos los efectos generales de la corriente eléctrica, dijimos que las disoluciones acuosas de los ácidos bases y sales, dejaban pasar la electricidad, pero descomponiéndose a su paso. Tales disoluciones conductoras se denominan conductores de segunda clase o electrólitos.

Para explicar la conductibilidad de los electrólitos y otros fenómenos conocidos desde muy antiguo, fue ideada por Arrhenius una teoría, conocida con el nombre de teoría de la disociación electrolítica, confirmada luego plenamente.

Supone la teoría de la ionización que:

1.° *Cuando se disuelve en agua un ácido, una base o una sal, cierto número de sus moléculas se escinden en partes cargadas eléctricamente con electricidades opuestas, llamadas iones.* Los iones son, por tanto, átomos o grupos de átomos (radicales) estabilizados por cargas eléctricas.

2.° *Siendo la molécula antes de disociarse eléctricamente neutra, el número de cargas positivas y negativas que tienen los iones que proceden de una molécula tienen que ser iguales,* y la disolución en conjunto posee

iones negativos y positivos en cantidades equivalentes por lo que sigue siendo eléctricamente neutra. Así, el ácido clorhídrico y el cloruro cúprico se ionizan según las siguientes ecuaciones:

$$ClH \rightleftharpoons Cl^- + H^+ \qquad Cl_2Cu \rightleftharpoons 2\,Cl^- + Cu^{++}$$

3.° *Los iones actúan con independencia mutua y de las moléculas no disociadas.* y poseen propiedades peculiares enteramente distintas de aquellos mismos átomos o grupos de átomos desprovistos de cargas eléctricas. Así, en la disolución de cloruro de cobre, existen iones cloro perfectamente estables, pero esta disolución no presenta ninguna propiedad del cloro. El cobre es un metal sólido completamente insoluble en agua, mientras que los iones cobre tienen propiedades enteramente distintas y permanecen estables en la disolución.

4.° *Se establece un equilibrio entre los iones y las moléculas no disociadas.* A medida que la disolución se diluye aumenta el número de moléculas disociadas hasta que a una disolución infinita todo el electrólito está disociado.

La hipótesis de Arrhenius daba cabal explicación a muchos fenómenos que no la tenían anteriormente, entre ellos la conductibilidad de los electrólitos de la que nos vamos a ocupar seguidamente.

Electrólisis. — De acuerdo con la teoría de la disociación electrolítica, la disolución de un ácido, base o sal, contiene junto con las moléculas no disociadas, cierto número de iones positivos y negativos en completo desorden.

Cuando en el electrólito se introducen dos electrodos o conductores metálicos, que supondremos de platino, conectados a los polos de un generador de corriente continua, uno queda cargado positivamente (ánodo) y el otro negativamente (cátodo). Inmediatamente, el electrodo positivo atrae a los iones negativos y el electrodo negativo atrae a los iones positivos, de modo que unos y otros se encaminan hacia el electrodo correspondiente.

Cuando los iones llegan a ponerse en contacto con el electrodo correspondiente, neutralizan sus cargas y se convierten en átomos o radicales libres, comportándose entonces de la manera que les corresponde. Así, cuando el electrólito es el cloruro de cobre, los iones cloro se dirigen al ánodo y los iones cobre al cátodo, donde se neutralizan cediendo o tomando electrones:

$$2\,Cl^- - 2 \text{ electrones} \rightarrow 2\,Cl = Cl_2$$
$$Cu^{++} + 2 \text{ electrones} \rightarrow Cu$$

Los átomos de cloro, se reúnen de dos en dos y forman moléculas de gas cloro, que por ser poco soluble se desprende en forma gaseosa. Los átomos de cobre, se depositan insolubles sobre el electrodo de platino recubriéndolo de una capa de este metal.

Procesos primarios y secundarios. — En el ejemplo anterior las cosas ocurren de manera sencilla y se obtienen los mismos cuerpos que forman los iones. La descarga de los iones constituye el *proceso o reacción primaria.*

Pero en muchos casos los átomos o grupos de átomos liberados no quedan en el estado en que fueron producidos, sino que intervienen en otras *reacciones* o *procesos secundarios* muy variados. Así, por ejemplo, cuando la corriente atraviesa una disolución de hidróxido sódico, que se encuentra disociada según la ecuación:

$$NaOH \rightleftarrows Na^+ + OH^-$$

los iones positivos de sodio se dirigen al electrodo negativo mientras los iones negativos oxhidrilo se dirigen al electrodo positivo y allí se descargan unos y otros:

$$Na^+ + 1 \text{ electrón} \rightarrow Na \qquad OH^- - 1 \text{ electrón} \rightarrow OH$$

Pero los átomos de sodio libre, reaccionan con el agua lo mismo que ocurre cuando se pone un pequeño trozo de sodio metálico en agua, dando lugar a una reacción química o proceso secundario, en la que se desprende hidrógeno y se forma hidróxido sódico que queda disuelto:

$$2\,Na + 2\,H_2O = 2\,NaOH + H_2.$$

Al mismo tiempo los radicales oxhidrilo reaccionan entre sí y forman agua desprendiendo oxígeno:

$$2\,OH = H_2O + O.$$

Por esto, en la electrólisis del hidróxido sódico se desprende hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo, pero estos elementos se producen mediante procesos secundarios subsiguientes a la descarga de los iones sodio y oxhidrilo.

Como se ve por todo lo expuesto, la corriente en los electrólitos produce un transporte de materia (iones), mientras que en los conductores metálicos o en la corriente negativa en los gases enrarecidos, no hay transporte de materia sino desplazamiento de electrones libres.

Ejercicios

¿Qué dice la Ley de Avogadro y en que hechos experimentales se funda?

¿Cómo se determina la densidad de un gas respecto al aire conociendo su peso molecular?

¿Cuál es el fundamento de la determinación del peso molecular de un cuerpo mediante la ecuación general de los gases?

¿Cuáles son los puntos esenciales de la teoría de la ionización de Arrhenius? ¿Cómo se expresa la ionización del cloruro sódico (ClNa) y del cloruro cúprico (Cl_2Cu)?

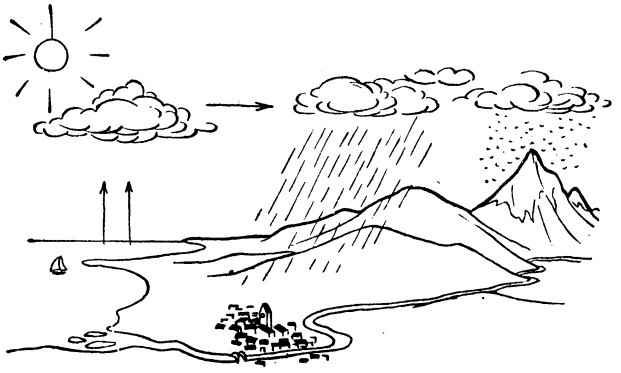
Problemas

1. ¿Cuál es la densidad con relación al aire del anhídrido carbónico cuyo peso molecular es $P_m = 44$? (Resp.: $D_a = 1{,}51$.)
2. ¿Cuánto cloro y cuánto sodio hay en 100 g de sal común (ClNa), sabiendo que los pesos atómicos del sodio y del cloro son respectivamente: Pa(Na) = 22,9; Pa(Cl) = 35,4? (Resp.: 40,6 g de Na y 59,4 g de Cl.)

31. EL AGUA

El agua, su estado en la naturaleza. — El agua es el compuesto más esencial y más importante desde todos los puntos de vista. Es también el más abundante en la naturaleza. En estado líquido forma los mares y océanos que cubren casi las $\frac{3}{4}$ partes de la superficie de la Tierra, así como los ríos y lagos. También forma parte de los animales y vegetales, algunos de los cuales están formados por agua en sus $\frac{3}{4}$ partes de peso. En estado sólido se encuentra en forma de hielo y nieve en las regiones frías de la tierra y en las cumbres de las montañas y en estado de vapor se encuentra en la atmósfera, constituyendo la humedad atmosférica. También forma parte de muchos minerales como el yeso, la bauxita, etc. bajo la forma de agua de cristalización o de interposición.

Ciclo del agua en la naturaleza. — *El agua realiza en la naturaleza un ciclo cerrado partiendo del mar, que actúa como depósito común y volviendo a él ininterrumpidamente.*



Ciclo del agua en la Naturaleza.

En efecto, el agua del mar se evapora en grandes cantidades bajo la acción del calor solar. Al alcanzar el vapor de agua regiones frías, se condensa en pequeñísimas gotas que constituyen las nubes. Estas gotitas van reuniéndose en gotas cada vez mayores, hasta caer al suelo formando la lluvia, o la nieve y el granizo, si la condensación o la lluvia tiene lugar en regiones donde la temperatura es inferior a cero grados. El agua de lluvia o procedente del deshielo corre sobre la superficie de la Tierra, siguiendo las líneas de mayor pendiente, y forma los torrentes o ríos, que finalmente desembocan en el mar, donde el agua comienza de nuevo el ciclo, que se repite indefinidamente.

Composición del agua. — Durante mucho tiempo se consideró el agua como un elemento químico. Después Lavoisier consiguió la descomposición del agua por electrólisis, haciendo pasar la corriente eléctrica a través del agua hecha conductora mediante una pequeña proporción de ácido sulfúrico. Así se prueba que *el agua está formada por dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno.*

La relación en peso de los volúmenes de hidrógeno y oxígeno que se combinan para formar agua, es de 1:8, es decir, que de cada 9 gramos de agua, 8 son de oxígeno y 1 de hidrógeno.

Propiedades físicas del agua. — *El agua pura es un líquido incoloro, inodoro e insípido.* Sus temperaturas de fusión y de ebullición a presión atmosférica normal, se han tomado como temperaturas de referencia para establecer las escalas termométricas. En la escala centígrada se les ha dado los valores 0° y 100°, lo que se expresa diciendo que el agua funde a 0° y hierve a 100° centígrados a presión atmosférica normal.

A temperatura ordinaria, sus moléculas están asociadas en grupos de dos o tres, asociaciones que existen al mismo tiempo que las moléculas sencillas. Esto es causa de su elevado calor específico (véase la tabla de la pág. 102), lo que hace que el agua sea un excelente regulador de la temperatura sobre la superficie terrestre.

El agua se dilata por efecto del calor, pero lo hace de manera irregular. A partir de 0°, al elevarse la temperatura su volumen disminuye hasta llegar a los cuatro grados centígrados, en cuyo momento alcanza su menor volumen. A partir de esa temperatura el agua dilata normalmente y disminuye su densidad.

Cuando solidifica, aumenta de volumen y disminuye fuertemente su densidad, por cuya causa el hielo flota sobre el agua líquida.

Propiedades químicas del agua. — El agua se forma desprendiendo gran cantidad de calor, por lo que se dice que *es un cuerpo exotérmico.* Por cada molécula gramo de agua formada, se desprenden 68 000 calorías gramo.

Como todos los cuerpos fuertemente exotérmicos, *el agua es muy estable* por lo que no se descompone en sus elementos sino a temperaturas superiores a los 1000°C.

A causa de esa descomposición, el agua *a temperaturas elevadas reacciona con algunos elementos que se apoderan del oxígeno.* Así, con el carbón al rojo, y con el magnesio o el hierro fuertemente calentados da hidrógeno libre mientras estos elementos se unen al oxígeno:

$$C + H_2O = CO + H_2; \qquad Mg + H_2O = MgO + H_2;$$
$$2\,Fe + 3\,H_2O = Fe_2O_3 + 3\,H_2$$

Cuando un elemento se une al oxígeno se dice que se oxida, y cuando un cuerpo pierde oxígeno se dice que se reduce. Por tanto, en las reacciones anteriores el carbono, el magnesio y el hierro se oxidan mientras el agua se reduce.

De estas tres reacciones, la primera tiene gran interés industrial, pues la mezcla de gases CO y H_2, llamada *gas de agua,* es combustible y permite además la obtención de hidrógeno puro separándolo del óxido de carbono.

El agua reacciona a temperatura ordinaria con algunos metales como el sodio, potasio, desprendiendo hidrógeno libre y formando hidróxidos del metal:

$$2\,H_2O + 2\,Na = H_2 + 2\,NaOH$$

El agua reacciona con los óxidos de los metales y de los metaloides (anhídridos), dando dos series muy importantes de cuerpos, llamados *hidróxidos* y *oxácidos* respectivamente.

$$H_2O + Na_2O = 2\,NaOH \qquad SO_3 + H_2O = SO_4H_2$$

El agua como disolvente. — Calentemos una pequeña cantidad de agua en una cápsula de platino. Observaremos que se desprenden pequeñas burbujas de aire antes de que comience a hervir, debido a que contiene aire disuelto, el cual es menos soluble en el agua caliente que en la fría. Luego, al evaporarse completamente el agua, queda un residuo salino, que se debe a sustancias minerales que también se encontraban en disolución.

Todas las aguas naturales contienen cierta cantidad de sustancias en disolución.

El agua de mar contiene gran cantidad de sal común, a la que se debe su sabor salado. Las aguas de río y lago contienen aire en disolución y sustancias minerales procedentes de los terrenos que atraviesan, e incluso las aguas de lluvia y nieve contienen aire disuelto.

El agua es el disolvente por excelencia. En ella se disuelven numerosísimas sustancias sólidas, líquidas y gaseosas.

Aguas potables. — Las aguas que son aptas para la bebida reciben el nombre de *aguas potables.*

Para que un agua pueda calificarse de potable no debe contener más de 0,5 g de sales disueltas por litro. Deben ser, además, frescas, tener sabor

agradable, no contener sustancias que revelen la presencia de materia orgánica en descomposición, y carecer de gérmenes patógenos.

La cantidad de sales cálcicas y magnésicas de un agua determina su dureza. Se llaman *aguas duras* cuando las contienen en abundancia, y *aguas blandas* cuando las contienen en pequeña cantidad.

Las aguas duras cuecen mal las legumbres y no pueden emplearse en las calderas de vapor porque forman un depósito que recubre poco a poco la caldera y disminuye su rendimiento, pudiendo originar accidentes.

Tampoco dan espuma con el jabón, debido a que una parte de éste se elimina de la disolución por formar con las sales cálcicas un jabón cálcico insoluble. La dureza de un agua se mide por la cantidad de disolución alcohólica de jabón que es necesario añadir para que una cantidad medida de agua dé espuma al agitarla.

La dureza del agua puede eliminarse mediante la adición de la cantidad necesaria de hidróxido cálcico y de carbonato sódico, con lo que las sales de calcio solubles precipitan bajo la forma de carbonato cálcico insoluble, que se separa por filtración:

$$(CO_3H)_3Ca + Ca(OH)_2 = 2\,CO_3Ca + H_2O;$$
$$SO_4Ca + CO_3Na_2 = SO_4Na_2 + CO_3Ca$$

Para fines industriales y domésticos se emplean las zeolitas naturales o artificiales. Haciendo pasar el agua dura a través de una capa de zeolita, este material intercambia el calcio y el magnesio de agua por sodio, con lo que desaparece la dureza.

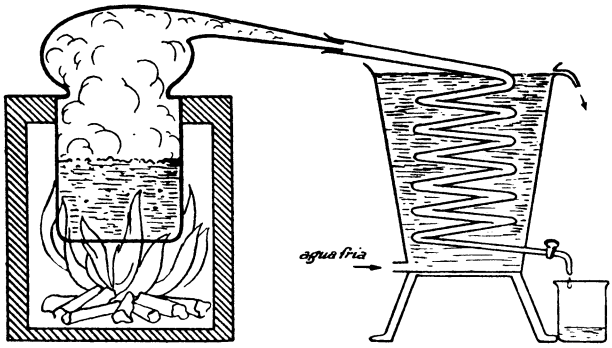
El mismo efecto producen ciertas resinas artificiales que se preparan actualmente y se emplean con muy buenos resultados.

Como para ser potable es necesario que el agua no sea dura y que carezca de gérmenes patógenos, muchas veces el agua destinada a la bebida tiene que ser sometida a la acción de agentes esterilizantes, especialmente el cloro gaseoso en pequeñísima proporción, hipocloritos y, a veces, el ozono o los rayos ultravioleta.

Purificación del agua. — Cuando se quiere disponer de agua pura se recurre generalmente al agua natural, a la que se le priva de todas las sustancias que pueda llevar en disolución. Esto se realiza mediante una operación llamada *destilación*, empleando unos aparatos llamados alambiques.

Un *alambique* consta de una caldera o cucúrbita donde se pone el agua que se quiere destilar. De la tapa de esta caldera o *capitel* sale una *alargadera* que termina en un tubo arrollado en espiral llamado *serpentín*, el cual se encuentra rodeado exteriormente de agua fría en circulación. Todo el aparato debe estar estañado interiormente, pues otros materiales podrían ser atacados por el agua pura.

Para destilar el agua se calienta ésta en la caldera hasta la ebullición; los vapores producidos son conducidos por la alargadera hasta el serpen-



El agua se destila y purifica en los alambiques. Los vapores del agua que está en ebullición pasan a un refrigerante donde se condensan de nuevo.

tín, donde se enfrían y condensan, recogiéndose el agua destilada en recipientes adecuados.

Para evitar que el agua destilada pueda arrastrar impurezas volátiles que suele contener el agua natural, se agrega a ésta una pequeña cantidad de permanganato sódico y de hidróxido potásico y se desechan las primeras y últimas porciones del destilado. De esta forma el agua destilada obtenida es prácticamente pura.

Si se desea agua extraordinariamente pura, el agua destilada por dos veces, se enfría hasta la congelación, y se recogen solamente los primeros cristales de hielo formados, los cuales por fusión dan agua extraordinariamente pura.

Ejercicios

Explicar el ciclo del agua en la Naturaleza.

¿Cuál es la composición del agua y cómo se determina?

Decir cuáles son las propiedades físicas y químicas más salientes del agua.

¿Qué condiciones debe reunir un agua para ser potable? ¿Cómo distinguiríamos un agua dura de una blanda?

¿En qué consiste la destilación del agua y cómo se realiza? Descríbase un alambique.

Experiencia:

Disolver sal común en agua destilada hasta saturación. Poner unas gotas de la disolución sobre un cristal de reloj y dejar que se evapore al calor solar. Obsérvese el residuo y compruébese que es sal por su sabor y con una lupa obsérvense los cristalitos cúbicos que se han formado.

32. EL HIDRÓGENO

El hidrógeno. Estado en la naturaleza. — El hidrógeno tiene por símbolo H y su molécula está formada por dos átomos. Su nombre significa engendrador de agua, debido a que forma parte de este compuesto.

El hidrógeno se encuentra libre en la atmósfera solar, y en la atmósfera terrestre en pequeñísima proporción que aumenta en las capas superiores. Combinado se encuentra formando parte de numerosos compuestos, especialmente del agua y otros productos naturales, como el petróleo, tomando parte también en la constitución de la materia orgánica tanto animal como vegetal.

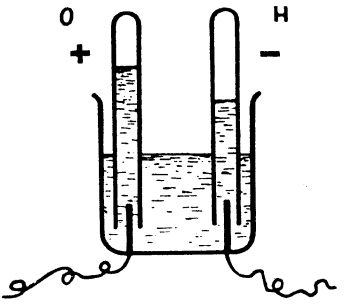
Obtención del hidrógeno. — *El hidrógeno se obtiene industrialmente a partir del agua, haciendo actuar el vapor de agua sobre carbón al rojo,* con lo que el carbono se apodera del oxígeno y deja hidrógeno libre; tal como se dijo al tratar del agua:

$$C + H_2O = CO + H_2$$

El óxido de carbono formado, actúa nuevamente sobre el vapor de agua haciendo pasar la mezcla sobre sustancias que favorecen la reacción (catalizadores) y se obtiene mayor cantidad de hidrógeno:

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2$$

y el anhídrido carbónico formado se retiene haciendo pasar la mezcla a través de cal apagada.



El hidrógeno se obtiene por electrólisis del agua acidulada con ácido sulfúrico. El hidrógeno se desprende del cátodo.

Se obtiene también industrialmente por electrólisis del agua acidulada con ácido sulfúrico, que tiene lugar del modo siguiente: el ácido sulfúrico está disociado según la igualdad:

$$SO_4H_2 \rightleftharpoons SO_4^{=} + 2\,H^+$$

Al conectar los electrodos con los polos del generador, los cationes H^+ se dirigen al electrodo negativo o cátodo, donde toman un electrón y se convierten en átomos de hidrógeno. Éstos se reúnen en moléculas y se desprenden en forma gaseosa:

$$H^+ + 1\,e \rightarrow H; \qquad 2\,H = H_2$$

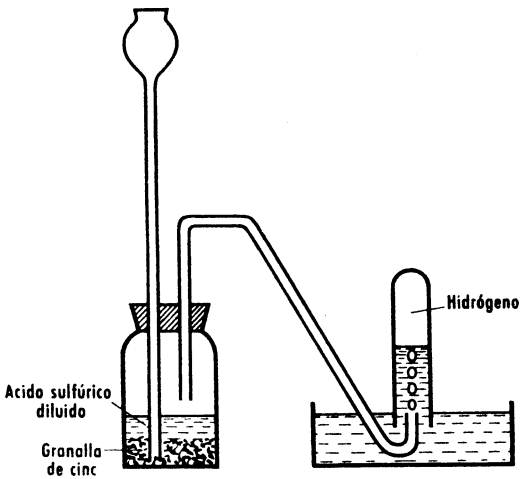
Los aniones sulfato $SO_4^{=}$, se dirigen igualmente al electrodo positivo o ánodo, donde se desprenden de sus cargas negativas (dos electrones) y se convierte en radical sulfato. Como este radical no puede existir libre, reacciona con el agua de la disolución regenerando el ácido sulfúrico y desprendiéndose oxígeno.

$$SO_4^{=} - 2\,e \rightarrow SO_4; \qquad SO_4 + H_2O = SO_4H_2 + O; \qquad 2\,O = O_2$$

Se comprende que en la electrólisis del ácido sulfúrico se desprenda hidrógeno en un electrodo (cátodo) y oxígeno en el otro (ánodo).

Como el ácido sulfúrico se regenera, sólo es necesario poner una pequeña cantidad del mismo. En cambio, el agua va desapareciendo descompuesta en sus dos elementos hidrógeno y oxígeno.

Finalmente, *en el laboratorio, el hidrógeno se suele obtener por la acción de los ácidos sobre muchos metales* (menos los metales nobles o

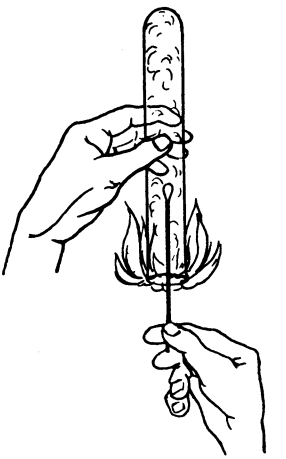


El hidrógeno se puede obtener por la acción del ácido sulfúrico diluido sobre granalla de cinc, empleando un dispositivo como el de la figura.

seminobles), los cuales sustituyen al hidrógeno del ácido que se desprende. Suele emplearse el ácido sulfúrico o clorhídrico y como metales el cinc o el hierro:

$$SO_4H_2 + Zn = SO_4Zn + H_2$$

Propiedades del hidrógeno. — *El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, poco soluble en el agua y difícil de liquidar.* Es el elemento de menor peso atómico y por tanto el de menor densidad, siendo 14,5 veces más ligero que el aire.



El hidrógeno es combustible pero no comburente.

Desde el punto de vista químico es un elemento muy activo que se combina con numerosos elementos, especialmente con los metaloides.

Con el oxígeno, no reacciona a temperatura ordinaria, pero mezclado con él estalla violentamente cuando se le acerca una llama o se hace saltar en su seno una chispa eléctrica (mezcla detonante), formándose agua y desprendiéndose gran cantidad de calor:

$$2\,H_2 + O_2 = 2\,H_2O + 2 \times 68\,000 \text{ calorías gramo.}$$

Si el hidrógeno se hace salir por un tubo estrecho al aire, puede arder a la salida sin explosión, haciéndolo con llama poco luminosa pero muy calorífica.

La afinidad del hidrógeno para el oxígeno no se limita al que se encuentra libre, sino que también se apodera del que se encuentra combinado con otros elementos, lo que se expresa diciendo que el hidrógeno tiene carácter fuertemente reductor. Así, cuando se hace pasar una corriente de hidrógeno sobre óxido de cobre a temperatura elevada, lo reduce formando agua y dejando cobre libre:

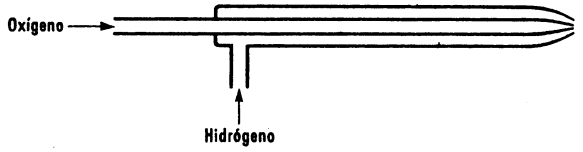
$$CuO + H_2 = H_2O + Cu$$

Se combina también fácilmente *con los elementos halógenos* (flúor, cloro, bromo y yodo), formando combinaciones binarias llamadas halogenuros de hidrógeno, las cuales se estudiarán más adelante.

Se combina finalmente con el nitrógeno, formando amoníaco como también se estudiará en otro lugar de este libro.

Aplicación del hidrógeno. — Se emplea por su pequeña densidad para llenar globos, aunque se prefiere el helio que no es combustible.

Por el calor que se desprende en su combustión con el oxígeno se emplea en el soplete oxhídrico, para fundir y soldar metales.



Una aplicación del hidrógeno es el soplete oxídrico. En él el hidrógeno arde en atmósfera de oxígeno alcanzando la llama elevadísima temperatura.

Se emplea también en la industria química para la obtención de muchos compuestos, especialmente amoníaco, ácido clorhídrico, alcohol metílico, etc., y para el endurecimiento de grasas de bajo punto de fusión y de aceites.

Ejercicios

Dígase algún procedimiento de obtención de hidrógeno y escríbase la reacción química correspondiente.

Citar algunas propiedades del hidrógeno y explicar su aplicación al soplete oxhídrico.

Experiencia:

Poner en el fondo de un tubo de ensayo unas recortaduras de cinc y añadir 3 cm^3 de ácido clorhídrico diluido (salfumán del comercio). Observar que se produce un gas (efervescencia) que es hidrógeno. Al cabo de unos momentos se acerca una cerilla encendida a la boca del tubo y se produce una pequeña explosión (mezcla detonante).

33. EL OXÍGENO

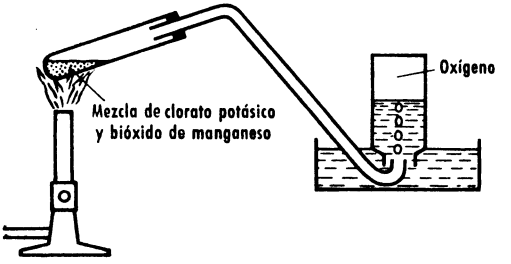
El oxígeno. Estado en la naturaleza. — El oxígeno tiene por símbolo O. Su nombre significa engendrador de ácidos y es un elemento esencial para la vida de los seres vivos que lo necesitan para respirar.

Es el elemento más abundante de la naturaleza, siendo casi la mitad del peso de la Tierra debida al oxígeno. Se encuentra libre formando parte del aire (23 por ciento en peso), y combinado formando parte de numerosos compuestos, de los cuales el más importante es el agua (88,8 por 100 en peso), y forma parte también de la materia viva, animal y vegetal.

Su molécula se encuentra formada por dos átomos y su valencia es dos.

Obtención del oxígeno. — El oxígeno *se obtiene generalmente del aire,* donde se encuentra mezclado con nitrógeno y gases nobles. Para ello el aire se comprime y enfría hasta licuarlo y *el aire líquido se destila fraccionadamente,* con lo que se separa el oxígeno del nitrógeno, debido a que la temperatura del primero es trece grados más elevada que la del segundo.

También se obtiene en la industria *por electrólisis del agua,* acidulada con ácido sulfúrico o alcalinizado con hidróxido sódico, como se ha dicho en la obtención del hidrógeno. Este método resulta poco económico.



El oxígeno se suele obtener en el laboratorio calentando una mezcla de clorato potásico y bióxido de manganeso que sirve para facilitar la descomposición del primero.

En el laboratorio suele obtenerse *por la descomposición a 150° del clorato potásico,* mezclado con bióxido de manganeso que facilita la descomposición:

$$2\,ClO_3K = 2\,ClK + 3\,O_2.$$

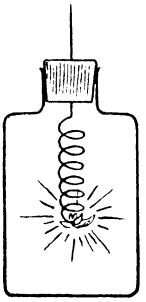
Propiedades del oxígeno. — *El oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, algo más denso que el aire y difícil de liquidar.*

Desde el punto de vista químico, el oxígeno *es un elemento sumamente activo, combinándose con casi todos los elementos* (menos los gases nobles, halógenos y algunos metales).

La reacción en que un elemento se une al oxígeno recibe el nombre de *oxidación*, y el compuesto que resulta de esa unión se llama genéricamente óxido. Cuando una oxidación es tan violenta que se desprende luz y calor, se llama *combustión.*

Algunos elementos se oxidan lentamente en el aire, especialmente en presencia de humedad. Así el hierro se oxida recubriéndose de una capa de orín o herrumbre:

$$6\,Fe + 4\,O_2 = 2\,Fe_3O_4$$



Un alambre de hierro con un punto de ignición arde violentamente en la atmósfera de oxígeno puro.

Otros elementos arden en el aire, para lo cual basta iniciar la combustión en un punto para que se propague a toda la masa. Esto ocurre con el carbono, fósforo, hidrógeno, azufre y otros:

$$C + O_2 = CO_2, \qquad P_4 + 5\,O_2 = 2\,P_2O_5, \qquad S + O_2 = SO_2$$

Las oxidaciones que en el aire tienen lugar lentamente, en el oxígeno tienen lugar más fácilmente y con mayor violencia, debido a que el nitrógeno del aire actúa como diluyente del oxígeno y modera la reacción. Así, cuando se introduce en oxígeno puro un alambre de hierro que tiene en su extremo un trozo de yesca encendido, ésta arde violentamente y propaga la combustión al hierro que arde desprendiendo gran cantidad de chispas.

También arden en el aire numerosos compuestos cuyos elementos son capaces de unirse al oxígeno. Así arde el alcohol, el petróleo, y muchos otros,

Óxidos. — *Se llaman óxidos los cuerpos que resultan de la unión del oxígeno con otro elemento.*

Los óxidos formados por el oxígeno con un metal tienen carácter básico, es decir, que cuando se disuelven en agua, ésta toma reacción alcalina, que se pone de manifiesto porque azulea el papel de tornasol rojo.

Los óxidos formados por el oxígeno con muchos metaloides tienen carácter ácido; es decir, que cuando se disuelven en agua, ésta adquiere reacción ácida, que se pone de manifiesto porque enrojece el papel de tornasol azul.

Se llaman *óxidos básicos,* los que forma el oxígeno con los metales que cuando se disuelven en agua comunican a la disolución carácter básico.

Se llaman *anhídridos,* los óxidos que forma el oxígeno con muchos metaloides, que cuando se disuelven en agua comunican a la disolución carácter ácido.

Para formular estos compuestos (como todos los compuestos binarios) se escriben los símbolos de los dos elementos que los forman y a cada uno de ellos se le pone un subíndice igual a la valencia que tiene el otro, salvo que ambos índices sean iguales, en cuyo caso no se ponen. Así, teniendo en cuenta la valencia de los elementos, indicada en la tabla de la página 215, el oxígeno forma los siguientes compuestos:

$$NaO, \quad K_2O, \quad CaO, \quad CuO, \quad Fe_2O_3, \quad SO_3, \quad CO_2$$

Los óxidos metálicos tienen mucho interés en metalurgia, pues con frecuencia los metales se presentan en forma de óxidos, que se aprovechan para la obtención de los metales libres.

Nomenclatura de los óxidos y anhídridos. — Para nombrar los óxidos metálicos se emplean dos nombres: uno genérico, que sirve para todos ellos (como el apellido que caracteriza a todos los miembros de una familia); otro, específico, que distingue unos de otros dentro de la misma familia. El nombre genérico es *óxido;* el específico se forma con la raíz del elemento unido al oxígeno seguida de la terminación *ico.*

Así, los óxidos metálicos cuyas fórmulas hemos escrito antes tienen los siguientes nombres: óxido sódico, óxido potásico, óxido cálcico, óxido cúprico y óxido férrico.

Para nombrar los anhídridos, se emplea igualmente un nombre genérico, que en este caso es *anhídrido,* y un nombre específico que se forma como en el caso anterior. Así, los anhídridos formados por el oxígeno con el azufre y el carbono reciben los nombres de anhídrido sulfúrico y anhídrido carbónico.

Algunos elementos pueden dar lugar a dos (o más) óxidos, en cuyo caso se hace terminar en ico el nombre específico del compuesto que contiene mayor cantidad de oxígeno y el otro se hace terminar en oso. Así, el azufre da estos dos óxidos: SO_2 y SO_3, que se llaman, respectivamente, anhídrido sulfuroso y anhídrido sulfúrico. El hierro da también dos óxidos, de fórmulas FeO y Fe_2O_3, que reciben los nombres de óxido ferroso y óxido férrico, respectivamente.

Acción del agua sobre los óxidos metálicos y sobre los anhídridos. Hidróxidos y oxácidos. — Las disoluciones acuosas de los óxidos básicos tienen la propiedad de azular el papel de tornasol, propiedad que no tiene el agua pura ni el óxido, antes de disolverse. Esto indica que en la disolución de un óxido metálico en el agua tiene lugar la formación de un cuerpo nuevo, al que se debe la propiedad mencionada. Efectivamente, el óxido reacciona con el agua, formando un cuerpo que recibe el nombre genérico de *hidróxido*. En el caso del óxido sódico, la reacción es la siguiente:

$$Na_2O + H_2O = 2\,NaOH$$

Los hidróxidos son cuerpos que se forman, teóricamente, por la unión de los óxidos metálicos con el agua.

Todos los hidróxidos están formados por un metal y tantos radicales OH como valencias tiene aquél.

Cuando los hidróxidos se disuelven en agua, sus moléculas se ionizan, de acuerdo con la teoría de Arrhenius. Los grupos OH se separan del metal, formando iones OH^- llamados *oxhidrilos*, mientras el metal forma el catión con tantas cargas positivas como oxhidrilos se han separado. Así, por ejemplo:

$$KOH \rightleftharpoons K^+ + OH^- \qquad NaOH \rightleftharpoons Na^+ + OH^-$$
$$Al(OH)_3 \rightleftharpoons Al^{+++} + 3\,OH^- \qquad Ca(OH)_2 \rightleftharpoons Ca^{++} + 2\,OH^-$$

Las bases o hidróxidos cuando se disuelven en agua se ionizan dando iones OH^-. A ellos deben todas las propiedades que les son comunes, como el azular el papel de tornasol, enrojecer la solución alcohólica de fenolftaleína, tener sabor a lejía y unirse con los ácidos para formar sales.

Se nombran lo mismo que los óxidos de que proceden sin más que sustituir la palabra óxido por la de hidróxido. Así, del óxido sódico procede el hidróxido sódico; del óxido potásico, el hidróxido potásico, y del óxido cálcico, el hidróxido cálcico.

Para formularlos, prescindiendo de su formación teórica por reacción de los óxidos con el agua, no hay más que escribir el símbolo del metal y a continuación el grupo OH con un subíndice igual a la valencia del metal.

También cuando se disuelve un anhídrido en agua aparece un nuevo cuerpo, al que debe la disolución de sus propiedades. Este cuerpo recibe el nombre de oxácido. En el caso del anhídrido carbónico, del anhídrido sulfúrico y del anhídrido nítrico, las reacciones que tienen lugar son las siguientes:

$$CO_2 + H_2O = CO_3H_2; \qquad SO_3 + H_2O = SO_4H_2;$$
$$N_2O_5 + H_2O = 2\,NO_3H$$

Los oxácidos son cuerpos que resultan teóricamente de la reacción de los anhídridos con el agua.

En todas las moléculas de los oxácidos, además del oxígeno, hay siempre uno o varios átomos de hidrógeno. Cuando se disuelven en el agua las moléculas de los oxácidos, se disocian separándose los átomos de hidrógeno, formando iones H^+, mientras que el resto de las moléculas forma un ion negativo o anión con tantas cargas eléctricas negativas como iones H^+ se han separado.

La ionización para los ácidos carbónico, sulfúrico y nítrico se expresa mediante las siguientes reacciones:

$$CO_3H_2 \Longleftrightarrow 2\,H^+ + CO_3^{=}; \qquad SO_4H_2 \Longleftrightarrow 2\,H^+ + SO_4^{=};$$
$$NO_3H \Longleftrightarrow H^+ + NO_3^-$$

Los ácidos son cuerpos que se ionizan cuando se disuelven en agua dando iones hidrógeno H^+. A ellos deben sus propiedades comunes, como la de enrojecer el papel de tornasol; el decolorar la fenolftaleína enrojecida por las bases, el tener sabor ácido y el reaccionar con las bases o hidróxidos para formar sales.

Se nombran como los anhídridos, sin más que sustituir la palabra anhídrido por ácido. Así, del anhídrido sulfúrico, el ácido sulfúrico.

No son los oxácidos los únicos ácidos que existen; hay otros con las mismas propiedades, debidas, como siempre, a la existencia en su molécula de iones hidrógeno, que se ionizan o separan al disolverse en el agua, pero que no contienen oxígeno en su molécula. Estos ácidos, llamados hidrácidos, serán estudiados en otro lugar de este libro.

Aplicaciones del oxígeno. — El oxígeno se emplea en el soplete oxhídrico (pág. 238) y oxiacetilénico, en que el combustible es el acetileno en lugar del hidrógeno. Se emplea en muchas industrias, como en la del ácido nítrico y del sulfúrico, como oxidante del amoníaco, del óxido nítrico, del azufre o del anhídrido sulfuroso.

Ejercicios

Decir cómo puede obtenerse el oxígeno en el laboratorio y escribir la reacción correspondiente.

Citar algunas propiedades del oxígeno. ¿En qué consiste la combustión del carbón? Explicar la aplicación del oxígeno al soplete oxhídrico.

¿Qué son óxidos metálicos y qué son anhídridos? Citar ejemplos de unos y otros.

¿Qué cuerpos se producen en la reacción de los óxidos y de los anhídridos con el agua? Formular alguna reacción que sirva de ejemplo.

Experiencia:

Se toman tres pastillitas de clorato de potasa de las que venden en la farmacia y después de pulverizadas se mezclan con una pequeña cantidad de manganesa (polvo negruzco que se vende en la droguería) y se coloca en el fondo de un tubo de ensayo. Manteniendo el tubo inclinado se coloca sobre la llama de un mechero de alcohol. Al cabo de unos momentos se observará el desprendimiento de un gas (oxígeno) que inflama de nuevo una astillita que conserve un punto de ignición, al ser introducida en el tubo.

34. LOS ELEMENTOS HALÓGENOS

Halógenos. — *Los elementos halógenos son el flúor, cloro, bromo y yodo.* Forman una familia de elementos cuyas propiedades son muy semejantes.

Su nombre, que significa *engendrador de sales,* se debe a que *se unen muy fácilmente a los metales dando compuestos llamados halogenuros. Éstos tienen carácter salino,* como el fluoruro sódico (FNa), cloruro potásico (ClK), bromuro potásico (BrK) y yoduro sódico (INa).

También se unen al hidrógeno formando halogenuros de hidrógeno, como el cloruro de hidrógeno (ClH) y bromuro de hidrógeno (BrH).

En los halogenuros, el halógeno actúa siempre como monovalente. Cuando se disuelven en agua se ionizan, dando un ion negativo que es el halógeno, y otro positivo, que es el metal o elemento positivo unido a él.

También pueden dar compuestos con el oxígeno, en cuyo caso actúan como elementos electropositivos, y en tal caso con 1, 3, 5 y 7 valencias.

El carácter metaloideo o electronegativo de un elemento se manifiesta por su tendencia a tomar cargas eléctricas negativas y convertirse en ion negativo. Este carácter electronegativo es en unos elementos más fuerte que en otros, y en el caso de los elementos halógenos decrece del flúor al yodo, de forma que el flúor es el que más avidez tiene por las cargas eléctricas negativas y el yodo el que menos.

Estado en la naturaleza. — Los halógenos no se encuentran libres en la naturaleza debido a su gran actividad química; de encontrarse libres pronto reaccionarían con otros elementos y formarían compuestos. *Se encuentran especialmente en forma de halogenuros de los metales alcalinos* (los metales alcalinos son el sodio, potasio, rubidio y cesio).

El cloro se encuentra principalmente como cloruro de sodio y de potasio. Éstos se encuentran en el agua del mar o en depósitos terrestres que proceden de la evaporación de mares de épocas remotas. También se encuentra abundante el cloruro magnésico (Cl_2Mg) junto con los anteriores.

El flúor forma parte de minerales importantes como la criolita (F_6AlNa_3), empleada en la obtención del aluminio, y la fluorita (F_2Ca).

El bromo se encuentra como bromuro de sodio, de potasio y de magnesio, juntamente con otros halogenuros en los yacimientos de Stassfurt (Alemania) y en pequeñas cantidades en el agua del mar.

El yodo se encuentra en muy pequeña cantidad en el agua del mar y está contenido en algunas algas. Se encuentra en forma de yodato de sodio junto al nitrato de Chile en los yacimientos de éste.

Obtención de los halógenos. — Para la obtención de los halógenos se recurre generalmente a los halogenuros de los metales alcalinos. En ellos, como se ha dicho, el halógeno se encuentra bajo la forma de ion negativo, como demuestra la ionización de estas sales al disolverse en el agua. Por tanto, los procedimientos que se siguen tienen solamente por objeto privar a los iones halógeno de su carga eléctrica negativa, con lo que quedan en estado libre. La reacción para el cloro, por ejemplo, es esencialmente la siguiente:

$$2\,Cl^- - 2 \text{ electrones} \rightarrow Cl_2 \text{ (gas)}$$

Esto se consigue por distintos procedimientos, a saber:

a) *Electrólisis de los halogenuros.*

En la electrólisis de los halogenuros, el halógeno se desprende del electrodo positivo.

La explicación de la electrólisis de los halogenuros es muy sencilla: Los halogenuros, como sabemos, se encuentran disociados en un anión halógeno y un catión metálico. Así, el cloruro sódico:

$$ClNa \Longleftrightarrow Cl^- + Na^+$$

Cuando en la disolución de cloruro sódico se introducen los extremos de dos conductores metálicos (electrodos) en comunicación con los bornes de un generador de corriente, los iones negativos son atraídos por el electrodo positivo y los iones positivos por el electrodo negativo.

Al ponerse en contacto los iones negativos con el electrodo positivo, pierden su carga eléctrica y se convierten en átomos libres:

$$2\,Cl^- - 2 \text{ electrones} \rightarrow Cl_2 \text{ (gas)}$$

De manera análoga, cuando los iones positivos se ponen en contacto con el electrodo negativo, pierden su carga eléctrica y se convierten en átomos metálicos libres:

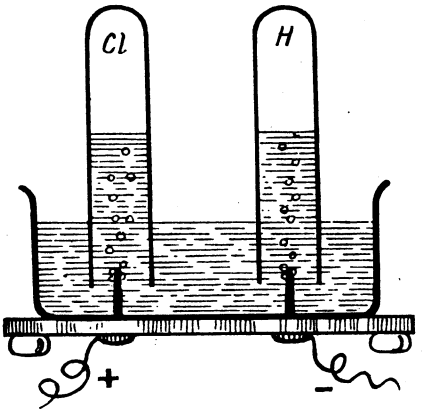
$$2\,Na^+ + 2 \text{ electrones} \rightarrow 2\,Na \text{ (metal)}$$

En resumen: cuando la electricidad se hace pasar a través de una disolución de cloruro de sodio, este cuerpo se descompone, y mientras el sodio se deposita sobre el electrodo negativo, el cloro se desprende en forma gaseosa del electrodo positivo.

El sodio depositado reacciona entonces con el agua de la disolución desprendiendo hidrógeno y formando hidróxido sódico que queda disuelto:

$$2\,Na + 2\,H_2O = 2\,NaOH + H_2$$

En la electrólisis del cloruro sódico disuelto en agua, se obtiene por tanto, hidrógeno que se desprende del electrodo positivo e hidrógeno que se desprende del electrodo negativo.



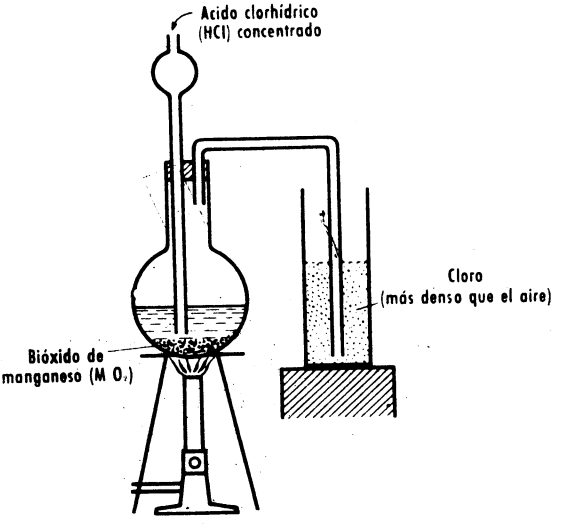
El cloro se puede obtener por electrólisis del ácido clorhídrico. El cloro se desprende del electrodo positivo.

La electrólisis de los cloruros alcalinos tiene especialmente interés en la obtención del cloro.

El flúor no puede obtenerse más que por este procedimiento.

b) *Oxidación de los halogenuros. Excepto el flúor, los restantes halógenos pierden sus cargas negativas en presencia del oxígeno, que es más electronegativo que ellos.*

Por esto, los halógenos pueden ser obtenidos por oxidación de los halogenuros, bien por el oxígeno del aire o por el que puede proporcionar



El cloro se suele obtener por oxidación del ácido clorhídrico concentrado mediante bióxido de manganeso en un dispositivo como el de esta figura.

algún otro oxidante. Así, a veces se emplea como oxidante el bióxido de manganeso (MnO_2), a saber:

$$4\,ClH + MnO_2 = Cl_2Mn + 2\,H_2O + Cl_2$$

Ésta es la reacción que se emplea en el laboratorio cuando se quiere obtener cloro. Para ello se calienta poco a poco la mezcla de ácido clorhídrico concentrado y bióxido de manganeso en un matraz, provisto de un tubo de desprendimiento, a través del cual se recoge en frascos, de los cuales el cloro desaloja al aire por su mayor densidad.

c) *Desplazamiento de un halógeno por otro más negativo.* Según sabemos, un elemento cualquiera en estado de ion será desposeído de sus cargas eléctricas negativas por otro más electronegativo que él. Por tanto, el flúor desalojará de sus compuestos al cloro, bromo y yodo; el cloro desalojará al bromo y al yodo, y el bromo solamente al yodo. Esto permite obtener el bromo a partir del bromuro sódico, haciendo pasar a través de sus disolución en agua una corriente de cloro gaseoso:

$$2\,Br^- + 2\,Na^+ + Cl_2 = Br_2 + 2\,Na^+ + 2\,Cl^-$$

o de otro modo:

$$2\,BrNa + Cl_2 = 2\,ClNa + Br_2$$

y lo mismo se obtiene el yodo del yoduro sódico:

$$2\,INa + Cl_2 = 2\,ClNa + I_2$$

Flúor. — El flúor es, como se ha dicho, el elemento más electronegativo que se conoce. *Tiene una enorme actividad, hasta el punto de que sólo el cloro, el nitrógeno y los gases nobles no reaccionan con él.* Ataca al vidrio, destruye las materias orgánicas y, en general, todas las materias que contienen hidrógeno, del que se apodera. No tiene interés industrial.

Cloro. — El cloro es, desde luego, el más importante de los elementos halógenos. *Es un gas de color amarillo verdoso y de olor sofocante irrespirable.* Ataca a las mucosas y causa lesiones graves en el aparato respiratorio, hasta el punto de que puede producir hemoptisis. Por esta razón fue el primer gas asfixiante usado durante la guerra mundial de 1914-1918.

Se liquida fácilmente a temperatura ordinaria sometiéndolo a fuerte presión, y en esta forma circula en el comercio dentro de cilindros de acero, ya que el cloro seco no ataca el hierro.

Se disuelve en agua y su disolución se conoce con el nombre de agua de cloro.

Desde el punto de vista químico es un elemento muy activo pero menos que el flúor y tiene propiedades muy parecidas a éste.

Presenta gran afinidad para el hidrógeno, con cuyo elemento se combina con desprendimiento de calor:

$$Cl_2 + H_2 = 2\,ClH + 2 \times 22\,000 \text{ calorías gramo}$$

Esta reacción no tiene lugar si los gases están completamente secos y en la oscuridad, pero en presencia de humedad y a la luz del sol, la reacción tiene lugar con explosión. La reacción es muy suave bajo la influencia de la luz difusa.

La afinidad del cloro para el hidrógeno le hace apoderarse del hidrógeno combinado con otros elementos. Así ocurre con el agua, que bajo la influencia de la luz, cede su hidrógeno al cloro disuelto en ella, desprendiéndose oxígeno.

$$2\,Cl_2 + 2\,H_2O = 4\,ClH + O_2$$

Por esta razón *el agua de cloro y el cloro húmedo son fuertemente desinfectantes y decolorantes,* pues el oxígeno que se forma destruye los microorganismos patógenos y las materias colorantes orgánicas.

Se combina fácilmente con muchos metales, desprendiendo calor y a veces luz e incluso los metales nobles se disuelven en el agua de cloro.

También presenta gran afinidad para los metaloides, muchos de los cuales arden en atmósfera de cloro, como sucede con el fósforo, arsénico, antimonio, silicio y otros.

Los únicos elementos con que no se combina directamente son el oxígeno, el nitrógeno y los gases nobles.

Desaloja al bromo y al yodo de los bromuros y yoduros, reacción de la que se saca partido para la obtención del bromo y yodo.

Se emplea para la obtención de numerosos compuestos de cloro y como decolorante y desinfectante enérgico.

Bromo. — *El bromo es líquido a la temperatura ordinaria. Tiene color rojo oscuro y emite vapores muy densos, de olor sofocante,* que atacan fuertemente las mucosas; es muy peligrosa su respiración, incluso muy diluido. Es soluble en agua y su disolución se conoce con el nombre de agua de bromo.

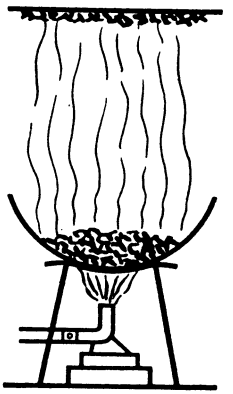
Desde el punto de vista químico, sus propiedades son muy parecidas a las del cloro, aúnque sus reacciones son menos violentas.

Reacciona con el hidrógeno, pero sólo bajo la influencia del calor. El agua de bromo experimenta una descomposición análoga a la que sufre el agua de cloro, desprendiendo oxígeno; pero esta reacción necesita el concurso de la luz y se activa por la presencia de sustancias capaces de absorber oxígeno.

Desaloja al yodo de los yoduros. Es también decolorante y desinfectante enérgico. Se usa en la preparación de numerosos compuestos de bromo.

Yodo. — *El yodo es sólido. Cristaliza en laminillas de color gris de acero. A temperatura ordinaria ya emite vapores de color violeta y se sublima fácilmente,* condensándose nuevamente sus vapores en las partes frías del aparato de destilación.

Es muy poco soluble en agua; se disuelve mejor en alcohol, sobre todo en presencia de yoduro potásico. La tintura de yodo que se emplea como



El yodo se sublima fácilmente y sus vapores se condensan también fácilmente formando nuevos cristales de yodo sólido.

desinfectante en Medicina es una disolución de yodo en alcohol, juntamente con yoduro potásico.

Sus propiedades químicas son análogas a las de los restantes halógenos, pero mucho más suaves. La reacción con el hidrógeno requiere la presencia de agentes catalizadores, pero resulta incompleta aún elevando la temperatura. El agua de yodo sólo se descompone en presencia de sustancias reductoras.

Se emplea en Medicina como desinfectante y en forma de yoduros. Se emplea también en la formación de sus compuestos.

Ejercicios

¿Cuáles son los elementos halógenos y cómo se encuentran en la Naturaleza? ¿En qué consiste fundamentalmente su obtención?

Citar algún ejemplo de obtención del cloro y escribir la reacción correspondiente.

Decir las propiedades más sobresalientes de los halógenos, en especial del cloro. ¿Porqué es decolorante el agua de cloro?

Experiencia:

Se coloca en el fondo de un tubo de ensayo medio gramo de manganesa y se añaden 4 o 5 cm^3 de ácido clorhídrico concentrado (salfumán), calentando con cuidado sobre la llama de un mechero de alcohol. Obsérvese el desprendimiento de un gas amarillo verdoso que es cloro y nótese su olor sofocante. (Al oler el gas, hágase con precaución)

Colóquese sobre un vidrio de reloj unos cristalinos de yodo y caliéntese muy suavemente sobre una pequeña llama. Obsérvense los vapores densos, de color violeta que se desprenden (sublimación). Estos vapores se hacen chocar sobre el fondo de una cápsula de porcelana, y sobre él se condensa nuevamente formando cristales sólidos de yodo.

35. ÁCIDO CLORHÍDRICO

Halogenuros de hidrógeno. — *Se llaman halogenuros de hidrógeno los compuestos que forma el hidrógeno con los diferentes halógenos.* Sus nombres son fluoruro, cloruro, bromuro y yoduro de hidrógeno y sus fórmulas FH, ClH, BrH, IH.

Son gases incoloros fácilmente solubles en agua y sus disoluciones presentan propiedades que ellos no tienen cuando se encuentran en estado anhidro. Así, mientras en este estado no conducen la corriente eléctrica y presentan poca reactividad química, en disolución conducen la corriente, tiene gran capacidad de reacción y, sobre todo, presentan propiedades ácidas muy marcadas. Por esta razón *en disolución acuosa se les considera ácidos y se les llama hidrácidos halogenados,* siendo los ácidos fluorhídrico, clorhídrico, bromhídrico y yodhídrico.

Tienen propiedades muy parecidas; únicamente el primero se aparta un poco de los demás.

Cloruro de hidrógeno. — El cloruro de hidrógeno se encuentra en algunos ríos americanos y forma parte del jugo gástrico de los mamíferos, junto con la pepsina, que inicia la digestión de los alimentos.

Se obtiene industrialmente por unión directa de sus elementos (síntesis) *haciendo arder un chorro de cloro en atmósfera de hidrógeno:*

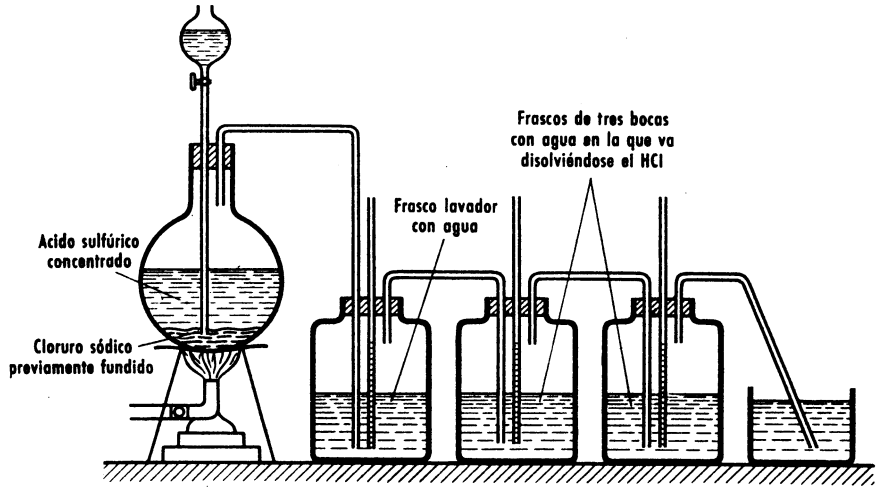
$$Cl_2 + H_2 = 2\,ClH$$

La industria lo obtiene aún en grandes cantidades por la acción del ácido sulfúrico concentrado sobre el cloruro de sodio a temperatura superior a los 220°.

$$2\,ClNa + SO_4H_2 = SO_4Na_2 + 2\,ClH,$$

pero esta reacción va cayendo en desuso.

En el laboratorio se obtiene por este mismo procedimiento, aunque a



El ácido clorhídrico se obtiene por acción del ácido sulfúrico concentrado sobre cloruro sódico previamente fundido. Así se forma cloruro de hidrógeno gaseoso que se disuelve en el agua formando ácido clorhídrico.

temperatura más baja, con lo cual se obtiene sulfato ácido de sodio y el rendimiento es la mitad que en el caso anterior:

$$ClNa + SO_4H_2 = SO_4HNa + ClH$$

El dispositivo que se usa en el laboratorio para esta reacción consta de un matraz, en el que se coloca la mezcla reaccionante, provisto de un tubo de seguridad que penetra en el líquido y un tubo de desprendimiento, (el cloruro de sodio empleado debe ser fundido para evitar la formación de espuma). El gas procedente de la reacción se hace burbujear a través de una serie de frascos de tres bocas que contienen agua destilada en la cual se va disolviendo el gas, para formar la disolución de ácido clorhídrico que es como se emplea ordinariamente.

Propiedades físicas y químicas. — *El cloruro de hidrógeno es un gas incoloro fácilmente liquidable. Es muy soluble en agua,* hasta el punto de que un litro de agua a 0° disuelve 500 de gas.

Cuando se destila una mezcla de agua y cloruro de hidrógeno se obtiene primero agua o ClH, según que la disolución esté diluida o concentrada, hasta que la disolución alcanza una concentración de 20,24 por 100 de ClH, en cuyo momento empieza a destilar una mezcla de composición constante e igual a la de la disolución; esto ocurre a 110°. Esta mezcla recibe el nombre de *mezcla azeotrópica.*

Su disolución en agua se conoce con el nombre de ácido clorhídrico, pues como se ha dicho, mientras que el cloruro de hidrógeno seco no pre-

senta propiedades ácidas, su disolución en agua las presenta muy marcadas. En esta disolución las moléculas de ClH se encuentran disociadas casi en su totalidad, lo que se expresa diciendo que el ácido clorhídrico es un ácido fuerte.

El ácido clorhídrico presenta las propiedades generales de los ácidos, es decir, tiene sabor agrio, enrojece el papel de tornasol azul y decolora la disolución roja de fenolftaleína.

El ácido clorhídrico ataca y disuelve muchos metales (menos los metales nobles y seminobles) formando cloruros y desprendiendo hidrógeno:

$$2\,ClH + Zn = Cl_2Zn + H_2$$

por lo que esta reacción se suele usar en el laboratorio para la obtención del hidrógeno.

Actúa igualmente sobre los óxidos metálicos formando cloruros y separando agua:

$$2\,ClH + CaO = Cl_2Ca + H_2O$$

Con los hidróxidos reacciona el ácido clorhídrico formando también cloruros y agua:

$$ClH + NaOH = ClNa + H_2O$$

Particularmente con el hidróxido amónico se une formando cloruro amónico, a lo que se debe que cuando se acercan los tapones humedecidos de los frascos que contienen ambos reactivos se forman abundantes humos blancos:

$$ClH + NH_4OH = ClNH_4 + H_2O.$$

Ataca a los carbonatos con desprendimiento de anhídrido carbónico:

$$2\,ClH + CO_3Ca = Cl_2Ca + H_2O + CO_2.$$

Se utiliza en gran escala en la industria para la obtención de cloruros y para otras numerosas aplicaciones.

Bromuro de hidrógeno y yoduro de hidrógeno. — *Se obtienen por el procedimiento general,* pero sustituyendo el ácido sulfúrico por el ácido fosfórico:

$$2\,BrNa + PO_4H_3 = PO_4HNa_2 + 2\,BrH$$
$$2\,INa + PO_4H_3 = PO_4HNa_2 + 2\,IH$$

El ácido sulfúrico reaccionaría con el bromuro o yoduro de hidrógeno dando bromo o yodo libres.

También se pueden obtener por unión directa de sus elementos, pasando la mezcla de ambos a través de un tubo conteniendo esponja de platino, que actúa como catalizador, y calentado a 400°:

$$Br_2 + H_2 = 2\,BrH$$
$$I_2 + H_2 = 2\,IH$$

Son gases incoloros fácilmente liquidables, solubles en agua y cuyas soluciones también presentan reacción ácida, dando lugar a reacciones análogas a las que hemos indicado para el ácido clorhídrico.

Ejercicios

¿Qué son los halogenuros de hidrógeno? ¿Qué diferencia hay entre el cloruro de hidrógeno y el ácido clorhídrico?

Indicar algunas propiedades del ácido clorhídrico y escribir las reacciones del mismo con los metales, óxidos, hidróxidos y carbonatos.

Experiencia:

Colocar en el fondo de un tubo de ensayo un trocito de mármol y añadir 2 o 3 cm^3 de ácido clorhídrico diluido. Obsérvese el desprendimiento de un gas que es anhídrido carbónico. Escríbase la reacción.

36. ÁCIDOS, BASES Y SALES

Ácidos. Caracteres generales. — Los ácidos son cuerpos que presentan las siguientes propiedades comunes:

1. *Enrojecen el papel azul de tornasol.*
2. *Decoloran la fenolftaleína, enrojecida por las bases.*
3. *Tienen sabor agrio como el vinagre.*
4. *Reaccionan con muchos metales (Mg, Zn, etc.) desprendiendo hidrógeno.*
5. *Reaccionan con los hidróxidos formando sales con separación de agua.*

Todas estas propiedades, sin embargo, las manifiestan únicamente en presencia de agua, de manera que en ausencia de ésta, los ácidos no se comportan como tales. Los ácidos completamente anhidros, que no tienen las propiedades típicas de éstos se llaman anhidroácidos, mientras que con agua o disueltos en ella se llaman acuoácidos o ácidos verdaderos.

Clasificación y nomenclatura de los ácidos. — *Los ácidos se dividen en hidrácidos y oxácidos, y se diferencian en que los primeros no tienen oxígeno en su molécula, mientras que los segundos contienen este elemento.*

Los hidrácidos son combinaciones binarias del hidrógeno con los elementos halógenos (F, Cl, Br, I) o con el azufre, selenio y teluro (S, Se, Te).

Se nombran con el nombre genérico ácido y un nombre específico que hace referencia al elemento unido al hidrógeno con la terminación *hídrico*. Así, los siguientes hidrácidos tienen los nombres y fórmulas que se indican:

FH ácido fluorhídrico	SH_2 ácido sulfhídrico
ClH ácido clorhídrico	SeH_2 ácido selenhídrico
BrH ácido bromhídrico	TeH_2 ácido telurhídrico
IH ácido yodhídrico	

Los oxácidos son combinaciones ternarias del hidrógeno y el oxígeno con otro elemento no metálico, que derivan teóricamente de la unión del agua con los anhídridos.

Se nombran también con el nombre genérico ácido y un nombre específico que hace referencia al elemento unido al hidrógeno y al oxígeno con la terminación *ico*. Así, el ácido carbónico tiene la fórmula CO_3H_2.

Con frecuencia un mismo elemento da lugar a dos oxácidos. En este caso uno se nombra como hemos dicho anteriormente y el otro —el que tenga menor cantidad de oxígeno— cambiando la terminación *ico* por la terminación *oso*. Así, el azufre forma dos oxácidos, cuyas fórmulas y nombres son los siguientes:

SO_3H_2 ácido sulfuroso
SO_4H_2 ácido sulfúrico

Si el mismo elemento forma cuatro oxácidos, para designar al que tenga menos oxígeno que aquel cuyo nombre termina en *oso*, se antepone al nombre de éste la partícula *hipo* y para designar al que tenga más oxígeno que aquel cuyo nombre termina en *ico*, se antepone al nombre de éste la partícula *per*. Así, los cuatro ácidos que forma el cloro tienen los nombres y fórmulas siguientes:

ClOH ácido hipocloroso
ClO_2H ácido cloroso
ClO_3H ácido clórico
ClO_4H ácido perclórico

Bases o hidróxidos. Caracteres generales. — Las bases o hidróxidos son cuerpos que presentan las siguientes propiedades comunes:

1. *Azulean el papel rojo de tornasol.*
2. *Enrojecen la fenolftaleína, decolorada por los ácidos.*
3. *Tienen sabor a lejía.*
4. *Reaccionan con los ácidos formando sales con separación de agua.*

Las bases o hidróxidos derivan teóricamente de la unión del agua con los óxidos metálicos y, por tanto, contienen hidrógeno, oxígeno y un metal.

En la molécula de hidróxido el hidrógeno y el oxígeno están en igual proporción y cada átomo de oxígeno está unido a otro de hidrógeno formando grupos o radicales OH llamados *oxhidrilos.*

En la molécula de hidróxido está formada por un átomo, metálico y tantos grupos oxhidrilo como valencias tiene el metal.

Nomenclatura de las bases o hidróxidos. — Los hidróxidos se nombran con el nombre genérico hidróxido, seguido de un nombre específico que hace referencia al metal que contiene terminado en *ico.* Cuando el mismo metal forma dos hidróxidos, aquél en que el metal actúa con mayor valencia se nombra como se ha dicho, y el hidróxido en que el metal actúa con valencia menor, se nombra cambiando la terminación *ico* por *oso.* Así, los siguientes hidróxidos tienen los nombres y fórmulas que se indican:

$NaOH$ hidróxido sódico
KOH hidróxido potásico
$Ca(OH)_2$ hidróxido cálcico
$Fe(OH)_2$ hidróxido ferroso
$Fe(OH)_3$ hidróxido férrico

Concepto iónico de ácido y base. — De acuerdo con la teoría de la disociación, estudiada con motivo de la electrólisis (pág. 228), según la cual los ácidos y las bases (y también las sales) se disocian en iones al disolverse en agua, y conforme también con el hecho de que estos cuerpos no presentan las propiedades características antes citadas hasta el momento en que se disuelven en agua, hay que admitir que las propiedades características de los ácidos y bases se deben a la presencia de los iones que contienen sus disoluciones.

Si tomamos como ejemplo la disociación de los ácidos clorhídrico y bromhídrico, comprobaremos que no puede expresarse más que por las igualdades siguientes:

$$ClH \rightarrow Cl^- + H^+; \qquad BrH \rightarrow Br^- + H^+$$

y puesto que las disoluciones de estos ácidos tienen todas las propiedades generales de los ácidos, es evidente que se tienen que atribuir, no a los iones Cl^- o Br^-, sino a los iones H^+ que son comunes a una y otra disolución.

Los ácidos son cuerpos que en disolución acuosa se disocian dando un ion negativo y uno o varios iones hidrógeno. Las propiedades características de los ácidos se deben precisamente a la presencia de los iones hidrógeno.

Según que la molécula de ácido produzca al disociarse uno, dos, tres, etcétera, iones hidrógeno, los ácidos reciben los nombres de *monobásicos, bibásicos, tribásicos,* etc. Así, el ácido clorhídrico es monobásico, el ácido sulfúrico bibásico, el fosfórico tribásico, etc.

Por consideraciones semejantes, *reciben el nombre de bases o hidróxidos los cuerpos que en disolución acuosa se disocian en un ion metálico positivo y uno o varios iones oxhidrilos.* Las propiedades características de los hidróxidos se deben precisamente a la presencia de los iones oxhidrilo.

La disociación de las moléculas de un ácido o de una base, y en general de un electrólito, no suele ser total, es decir, que el tanto por ciento de moléculas disociadas raramente en cien. Así, en igualdad de condiciones de dilución, de cada cien moléculas de ácido clorhídrico 92 están disociadas, mientras de cada cien moléculas de ácido sulfúrico 61 lo están, y sólo 1,2 de cada cien de ácido acético.

Se dice que un ácido o una base (y en general un electrólito) es fuerte cuando el tanto por ciento de moléculas disociadas es muy elevado y se dice que es débil cuando dicho tanto por ciento es bajo.

El ácido clorhídrico es más fuerte que el sulfúrico y éste más que el acético. El hidróxido sódico es fuerte y el hidróxido amónico es débil.

Neutralización. Sales. — Cuando se mezclan dos disoluciones una de un ácido y otra de una base, se encuentran juntos los iones H^+ del ácido y los iohes OH^- procedentes de la base. Ambas clases de iones son capaces de unirse para formar agua según la ecuación:

$$H^+ + OH^- = H_2O$$

Los otros iones procedentes del ácido y de la base se reúnen también formando un nuevo cuerpo llamado genéricamente *sal,* el cual unas veces queda en disolución, más o menos ionizado, y otras por su pequeña solubilidad se deposita (precipita) en estado sólido.

$$ClH + NaOH = ClNa + H_2O$$
$$SO_4H_2 + Ba(OH)_2 = SO_4Ba + 2\,H_2O$$

En el primer caso la sal ClNa (cloruro sódico) queda disuelto, mientras que en el segundo la sal SO_4Ba (sulfato bárico) precipita en estado sólido.

Se comprende que si el ácido y la base se reúnen en cantidades tales que por cada ion hidrógeno haya otro ion hidroxilo, la disolución resultante no será ni ácida ni básica, ya que aquellos iones se unen para formar agua. Por esta razón la reacción entre un ácido y una base recibe el nombre de neutralización.

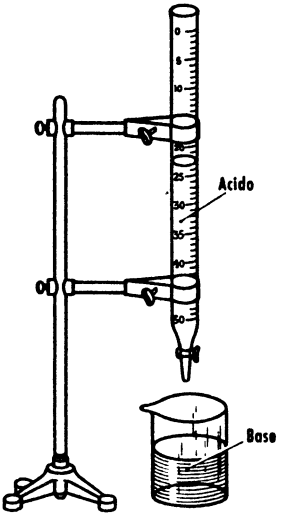
Se llama neutralización la reacción entre un ácido y una base en la que se forma una sal más agua.

Las sales son cuerpos que resultan de la acción de un ácido con una base con separación de agua.

Las sales se disocian también, como los ácidos y las bases, y al hacerlo se separa un catión metálico, y un anión, el del ácido de que procede. Así, el cloruro sódico se disocia según la ecuación:

$$ClNa \rightarrow Cl^- + Na^+$$

La neutralización es la reacción de un ácido con una base, formándose una sal y agua.



Por esto las sales se definen también como cuerpos que cuando se disuelven en agua se disocian dando un ion positivo distinto del hidrógeno y un ion negativo distinto del oxhidrilo.

Sales neutras, ácidas y básicas. — Si se comparan las fórmulas del cloruro sódico, con la del ácido clorhídrico y con la del hidróxido sódico, se ve que el primero puede considerarse derivado del ácido clorhídrico sustituyendo el hidrógeno de éste por el metal sodio, y también del hidróxido sódico, sustituyendo el oxhidrilo de éste por el radical Cl.

$$ClH \xrightarrow[\text{el H por Na}]{\text{sustituyendo}} ClNa \xleftarrow[\text{el OH por Cl}]{\text{sustituyendo}} NaOH$$

Las sales derivan teóricamente de la sustitución del ion hidrógeno de los ácidos por un metal o por sustitución del ion oxhidrilo de las bases por un radical ácido.

Cuando se sustituye el hidrógeno de los ácidos por un metal, puede ser que la sustitución no sea total, sino parcial. Por ejemplo, en el ácido sulfúrico, de fórmula SO_4H_2, puede sustituirse por el sodio uno o los dos átomos de hidrógeno y formarse las sales:

$$SO_4HNa \qquad y \qquad SO_4Na_2$$

de las cuales la primera todavía contiene hidrógeno reemplazable por el metal.

Se llaman sales ácidas, las que todavía contienen en su molécula hidrógeno ionizable, y que en disolución acuosa presentan propiedades ácidas.

Puede también suceder que la sustitución de los oxhidrilos de la base por radicales ácidos no sea tampoco total, y resulta así una sal que aún contiene iones oxhidrilos. Así, por ejemplo, cuando en el hidróxido de bismuto se sustituye solamente un hidróxido por un radical NO_3, resulta una sal de fórmula

$$NO_3(OH)_2Bi$$

Se llaman sales básicas las que todavía contienen en su molécula iones oxhidrilo y que en disolución acuosa presentan propiedades básicas.

La sustitución del hidrógeno de los ácidos por los metales o de los hidroxilos de las bases por los radicales ácidos puede ser total, en cuyo caso se originan sales que al disolverse en el agua no originan iones hidrógeno ni oxhidrilos.

Se llaman sales neutras las que proceden de la sustitución total del hidrógeno de los ácidos por un metal o de los oxhidrilos de la base por radicales ácidos. Sus disoluciones acuosas son neutras y no presentan propiedades de ácido ni de base.

Son ejemplos de sales neutras el sulfato sódico y el nitrato de bismuto de fórmulas SO_4Na_2 y $(NO_3)_3Bi$.

Nomenclatura de las sales. — Las sales neutras se nombran con un nombre genérico y otro específico. El nombre genérico se deriva del específico del ácido de que proceden, sustituyendo la terminación *ico* por *ato*, la terminación *oso* por *ito* y la terminación *hídrico* por *uro*.

Así, del ácido sulfúrico derivan sales que se denominan sulfatos; del ácido nítrico derivan las sales llamadas nitratos; del ácido sulfuroso derivan los sulfitos, y del ácido clorhídrico derivan los cloruros.

El nombre específico de la sal se forma con la raíz del metal con que se sustituyó al hidrógeno del ácido, seguida de la terminación *ico*. Cuando un metal, actuando con dos valencias distintas forma dos sales, se reserva la terminación *ico* para aquélla en que el metal actúa con mayor valencia, y a la otra en que el metal actúa con valencia menor se la hace terminar en *oso*.

Así, por ejemplo, las sales que forma el hierro con el radical del ácido nítrico tienen las fórmulas siguientes:

$$(NO_3)_2Fe \qquad y \qquad (NO_3)_3Fe$$

En ellas el hierro actúa con dos y con tres valencias y se denominan nitrato ferroso y nitrato férrico, respectivamente.

Indicadores. — *Se llaman indicadores a ciertas sustancias que cambian de color o que pasan de una forma coloreada a otra incolora, cuando la solución en que se encuentran pasa de ser ácida a básica o viceversa.*

Uno de los indicadores más frecuentemente empleados es la fenolftaleína, que se emplea en disolución alcohólica. Si se añaden unas gotas de esta disolución, que es incolora, a una disolución de hidróxido sódico en agua, toda la disolución se tiñe de rojo. Cuando sobre esta disolución básica se vierte poco a poco un ácido, llega un momento en que la disolución vira rápidamente de color hasta quedar incolora. Esto ocurre cuando todo el hidróxido sódico ha sido neutralizado, pues entonces basta agregar una gota más de ácido, para que la solución se haga ácida y el color del indicador desaparezca.

El empleo de los indicadores permite saber el momento en que una neutralización ha llegado a su fin, por el cambio de color que se produce.

Son muchos los indicadores que se emplean, pues según el ácido y la base que se neutralizan es más conveniente usar uno u otro.

Ejercicios

Enunciar las propiedades generales de los ácidos. ¿A qué deben los ácidos sus propiedades comunes? ¿En qué se diferencian los oxácidos de los hidrácidos?

¿Cómo se nombran los hidrácidos? Poner algunos ejemplos.

¿Cómo se nombran los oxácidos? Poner algunos ejemplos.

Enunciar las propiedades generales de los hidróxidos. ¿A qué deben los hidróxidos sus propiedades comunes? ¿Cómo se forman los nombres de los hidróxidos? Poner algunos ejemplos.

En qué consiste la neutralización? ¿Qué cuerpos se forman en la neutralización? Poner algún ejemplo y escribir la reacción correspondiente.

¿Qué son sales neutras, ácidas y básicas? Poner ejemplos.

¿Cómo se nombran las sales?

¿Qué son los indicadores? ¿Qué cambio de color sufre la fenolftaleína al pasar de medio básico a medio ácido?

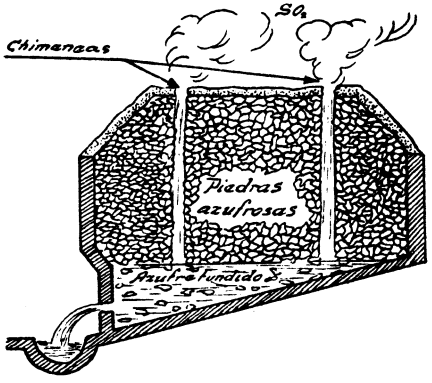
37. AZUFRE Y ANHÍDRIDO SULFUROSO

Azufre. Su estado en la naturaleza. — El azufre es un elemento que tiene por símbolo S. Se encuentra libre en muchas regiones volcánicas como en Texas y Luisiana, en Estados Unidos, en el Japón, en Sicilia y en España, en Libros (Teruel), y forma parte de muchos importantes compuestos como sulfatos (yeso, baritina, etc.) y sulfuros (cinabrio, galena y piritas). Forma parte también de muchas sustancias albuminoideas.

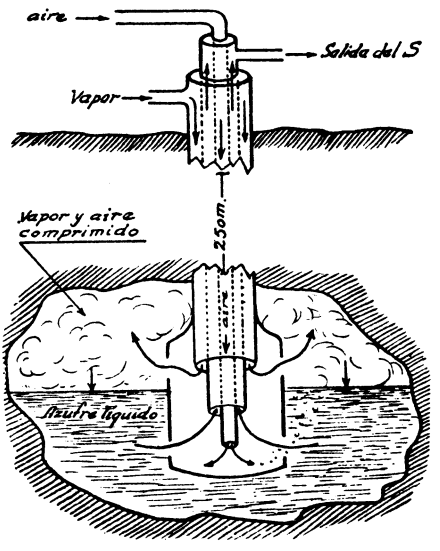
Actúa como elemento bivalente negativo frente a los metales y como tetra y hexavalente positivo frente a los metaloides.

Obtención del azufre. — El azufre del comercio se prepara a partir del que se encuentra libre. En Sicilia, donde el azufre se encuentra impregnando rocas volcánicas (hasta en un 40 %) se obtiene por el antiguo *método de los calcaroni,* en los que una parte del azufre arde y se pierde, mientras otra funde al calor de la combustión y se separa de la roca que forma la ganga.

Los *calcaroni* son hoyos hasta de 3 metros de profundidad y 20 de diámetro, cuyo fondo está inclinado hacia un muro que contiene una boquera



En Sicilia el azufre se obtiene por el procedimiento de los calcaroni.



En Luisiana y Texas el azufre se extrae por el método de Frasch.

para extraer el azufre líquido. Se coloca el mineral dejando espacios para la circulación del aire y salida de humos y luego se enciende cubriendo, al cabo de cierto tiempo, todo el horno con tierras ya agotadas. El azufre fundido se acumula en la parte de la boquera y se extrae dos o tres veces al día, dejándolo solidificar en moldes de madera húmedos.

La *purificación del azufre* bruto obtenido como se ha dicho, se realiza destilándolo en retortas de fundición y haciendo llegar los vapores de azufre a grandes cámaras de condensación. Cuando éstas se encuentran por debajo de la temperatura de fusión del azufre, éste se condensa sobre las paredes en forma de polvo fino (flor de azufre) y en otro caso se deposita líquido, solidificándose luego en moldes (azufre cañón).

En Luisiana y Texas, donde el azufre se encuentra generalmente a 150 o 200 metros de profundidad, se extrae por el *método de Frasch.* Este mé-

todo consiste en introducir hasta donde se encuentra el azufre tres tubos concéntricos de 25, 15 y 7 cm de diámetro. Por el más exterior se hace llegar vapor de agua sobrecalentado a 170° que funde el azufre, mientras por el más interior se introduce aire a presión que hace salir al azufre fundido por el tubo intermedio, solidificándose luego en grandes bloques en recipientes adecuados. Este método no requiere la purificación posterior del azufre.

Formas alotrópicas del azufre. — Algunos elementos químicos pueden presentarse bajo formas aparentemente distintas, que se diferencian por la forma de cristalización, solubilidad, y demás propiedades físicas, aunque, siendo el mismo elemento químico, no existan diferencias esenciales desde el punto de vista químico.

Las distintas maneras en que se presenta un elemento químico se llaman formas alotrópicas.

El azufre es uno de los elementos que puede presentarse bajo varias formas alotrópicas. *A temperatura ordinaria se presenta cristalizado en el sistema rómbico,* y en esta forma se obtiene cuando se cristaliza evaporando una disolución en sulfuro de carbono o anilina.

Cuando el azufre rómbico se calienta por encima de los 96° se transforma en otra variedad de azufre que cristaliza en el sistema monoclínico, el cual funde luego a temperatura de 119°. El azufre monoclínico se obtiene cuando se deja solidificar el azufre fundido, pero si se enfría por debajo de 96°, se convierte lentamente en la variedad rómbica.

Si el azufre fundido se sigue calentando, pardea y se hace viscoso, pero a temperatura aún más elevada se vuelve de nuevo fluido, hirviendo a temperatura de 444°. Si el azufre fundido calentado a 300° se enfría bruscamente vertiéndolo sobre agua, se obtiene una masa amorfa de color pardo que puede estirarse como la goma, que recibe el nombre de azufre plástico. El azufre plástico contiene otras dos variedades de azufre llamadas azufre lambda y azufre mu ($S\lambda$ y $S\mu$) y con el tiempo a temperatura ordinaria, se vuelve quebradizo por transformarse en la variedad rómbica, que es la forma estable a temperatura ordinaria.

Propiedades físicas del azufre. — El color, la densidad, la solubilidad y el punto de fusión, dependen de la variedad de azufre de que se trate.

El azufre rómbico, que es el estable a temperatura ordinaria, es sólido, de color amarillo limón que se atenúa por enfriamiento. Es inodoro e insípido, insoluble en agua pero muy soluble en sulfuro de carbono y anilina y tiene un punto de fusión de 112°.

Propiedades químicas del azufre. — El azufre se combina con el oxígeno y con la mayoría de los metales y metaloides, pero estas reacciones son generalmente menos violentas.

Es de destacar la afinidad del azufre para el oxígeno y para los metales.

El azufre arde en el aire o en oxígeno, formando anhídrido sulfuroso (SO_2) que se reconoce por su olor sofocante:

$$S + O_2 = SO_2 + \text{calor}$$

Reacciona con muchos metales a temperaturas elevadas, formando sulfuros. Así, calentando en un tubo de ensayo limaduras de hierro con azufre en polvo, reacciona la mezcla llegando a inflamarse, formándose sulfuro ferroso:

$$S + Fe = SFe$$

A temperatura elevada el azufre también reacciona con el carbón de coque, formándose sulfuro de carbono (CS_2) que es un líquido muy buen disolvente de grasas y materias orgánicas.

Aplicaciones del azufre. — El azufre es uno de los productos más empleados en la industria moderna. Se emplea en la fabricación de pomadas para la piel, en la fabricación de sulfamidas, en la fabricación de pólvora (mezcla de azufre, carbón y nitrato potásico) y pulverizado, para combatir enfermedades de las plantas.

También se emplea en la vulcanización del caucho y en la fabricación de ebonita.

El anhídrido sulfuroso. Su obtención. — El anhídrido sulfuroso es el dióxido de azufre de fórmula SO_2.

Se obtiene por combustión del azufre:

$$S + O_2 = SO_2$$

Industrialmente se obtiene por tostación de las piritas (la pirita de hierro S_2Fe) que tiene lugar en hornos especiales de parrillas giratorias. Por la parte superior va entrando la pirita que cae sucesivamente a las parrillas, mientras en sentido contrario circula el aire. Primero la pirita se seca y al llegar a la parte inferior, a temperatura cada vez mayor, se tuesta recogiéndose las cenizas en la parte inferior del horno. El anhídrido sulfuroso formado sale por la parte superior arrastrado por el exceso de aire.

En el laboratorio se obtiene por reacción de un sulfito con un ácido:

$$SO_3Na_2 + 2\,ClH = 2\,ClNa + H_2O + SO_2$$

o por la acción del ácido sulfúrico concentrado sobre recortaduras de cobre:

$$2\,SO_4H_2 + Cu = SO_4Cu + 2\,H_2O + SO_2$$

Propiedades del anhídrido sulfuroso. — *El anhídrido sulfuroso es un gas incoloro de olor picante y sofocante,* que se conoce por olor a pajuelas. *Se*

liquida a presión ordinaria a temperatura de $-8°$, para lo cual basta hacerlo pasar por un tubo ancho en forma de U colocado en una cápsula que contiene una mezcla refrigerante constituida por hielo picado y sal. Al evaporarse lo hace absorbiendo gran cantidad de calor (calor de vaporización) y produce fuerte enfriamiento, por lo que se usa en neveras y máquinas frigoríficas.

Se disuelve en agua y la disolución tiene carácter ácido, por lo que se admite que reacciona con ella formando ácido sulfuroso:

$$SO_2 + H_2O = SO_3H_2$$

Desde el punto de vista químico el anhídrido sulfuroso se caracteriza por su afinidad para el oxígeno del que se apodera, por lo que se dice que actúa como reductor enérgico. Efectivamente, en presencia de esponja de platino, que actúa como catalizador, y a temperatura elevada reacciona con el oxígeno formando anhídrido sulfúrico:

$$SO_2 + \tfrac{1}{2}\, O_2 = SO_3$$

y la solución acuosa, donde existe ácido sulfuroso, absorbe oxígeno del aire, o se apodera de sustancias que lo tengan y se convierte en disolución de ácido sulfúrico:

$$SO_3H_2 + \tfrac{1}{2}\, O_2 = SO_4H_2$$

En virtud de su poder reductor sus disoluciones acuosas actúan como desinfectantes y como decolorantes, debido al hidrógeno que se desprende en la reacción con el agua:

$$SO_2 + 2\, H_2O = SO_4H_2 + 2\, H_2$$

Su importancia industrial se debe a que es la base de la fabricación del ácido sulfúrico, producto industrial de importancia capital.

Ácido sulfuroso y sulfitos. — El ácido sulfuroso (SO_3H_2), se forma, como se ha dicho, al disolver el anhídrido sulfuroso en agua. Sin embargo, este ácido no se puede obtener libre, pues cuando se trata de obtenerlo evaporando su disolución acuosa, se descompone desprendiéndose anhídrido sulfuroso y vapor de agua.

Sin embargo, se conocen sus sales neutras y ácidas, pues como ácido bibásico, puede dar ambas clases de sales, siendo sus fórmulas generales SO_3Me_2 y SO_3HMe, donde Me es un metal monovalente.

Los sulfitos neutros de los metales alcalinos (sodio, potasio, rubidio y cesio) y todos los bisulfitos son solubles. Los restantes sulfitos neutros son insolubles.

Todos los sulfitos y bisulfitos o sulfitos ácidos, reaccionan con los ácidos desprendiendo anhídrido sulfuroso:

$$SO_3HNa + ClH = ClNa + H_2O + SO_2$$

y por tanto sus disoluciones aciduladas son reductoras y decolorantes empleándose como tales en la industria de los colorantes, y para el blanqueo de fibras y en fotografía.

Ejercicios

Describir sucintamente la obtención del azufre por el método de los calcaroni y por el método de Frasch.

¿Qué son formas alotrópicas de un elemento? ¿Cuáles son las formas alotrópicas del azufre? ¿En qué forma se obtiene el azufre cuando se obtiene evaporando una disolución de azufre y en cuál cuando se obtiene dejando solidificar el azufre fundido?

¿Qué gas se produce cuando se quema el azufre? Escribir la reacción.

¿A qué se debe la reacción ácida de la disolución de SO_2 en agua? Escribir la reacción.

¿Que son los sulfitos y bisulfitos? Escribir la reacción del bisulfito de sodio con el ácido clorhídrico.

38. ÁCIDO SULFÚRICO

El ácido sulfúrico. Generalidades. — El ácido sulfúrico es un producto conocido de muy antiguo con el nombre de *aceite de vitriolo*, nombre que todavía se le da en el comercio, debido a su aspecto oleaginoso y a que se obtuvo por primera vez a partir del sulfato ferroso que se conocía con el nombre de vitriolo de hierro.

Obtención del ácido sulfúrico. — La obtención del ácido sulfúrico se lleva a cabo actualmente por dos procedimientos, el método antiguo llamado de las cámaras de plomo y el moderno o método de contacto que va sustituyendo al anterior, sobre todo cuando se trata de obtener ácido concentrado y de gran pureza. Ambos procedimientos consisten esencialmente en la transformación del anhídrido sulfuroso en anhídrido sulfúrico, y seguidamente la unión de éste con el agua para formar ácido sulfúrico.

$$SO_2 + \tfrac{1}{2}\, O_2 = SO_3$$
$$SO_3 + H_2O = SO_4H_2$$

Método de las cámaras de plomo. En la obtención del ácido sulfúrico por el método de las cámaras de plomo, se parte del anhídrido sulfuroso

obtenido por tostación de las piritas en los hornos de tostación, de los que se dio una ligera idea al estudiar este compuesto. El anhídrido sulfuroso se hace llegar a las cámaras de plomo, que son grandes cámaras forradas de este metal, juntamente con aire, agua pulverizada y óxido nítrico (NO) que actúa como catalizador facilitando la reacción. El óxido nítrico se produce cuando los gases muy calientes procedentes del horno de piritas pasan por los hornos de nitro. En ellos el nitrato sódico se descompone por el calor y da una mezcla de óxido nítrico y bióxido de nitrógeno ($NO + NO_2$) que es arrastrada hasta las cámaras. Las reacciones que tienen lugar en las cámaras son bastante complicadas, pero esquemáticamente se pueden expresar como se ha indicado más arriba.

Método de contacto. Lo característico de este método es precisamente la obtención del anhídrido sulfúrico por oxidación del anhídrido sulfuroso en presencia de catalizadores de contacto que facilitan la reacción. La reacción:

$$SO_2 + \tfrac{1}{2}\, O_2 = SO_3$$

a temperatura ordinaria es sumamente lenta. A temperatura elevada la velocidad de la reacción es mayor, pero siendo esta reacción reversible, resulta que entonces el tanto por ciento de anhídrido sulfuroso que se transforma en anhídrido sulfúrico es muy pequeño, por lo que tampoco así se obtienen buenos resultados. Por estas razones, para obtener los buenos resultados apetecidos, es preciso usar un catalizador que facilite la reacción aumentando su velocidad, aun a temperatura relativamente baja.

En la práctica se hace pasar una corriente de anhídrido sulfuroso procedente de los hornos de tostación de piritas, previamente filtrado y purificado, mezclado con aire sobre amianto platinado que actúa de catalizador a temperatura de 400°. Los vapores de anhídrido sulfúrico formados se recogen sobre ácido sulfúrico concentrado, obteniéndose una mezcla de ácido sulfúrico y ácido pirosulfúrico, llamado ácido sulfúrico fumante.

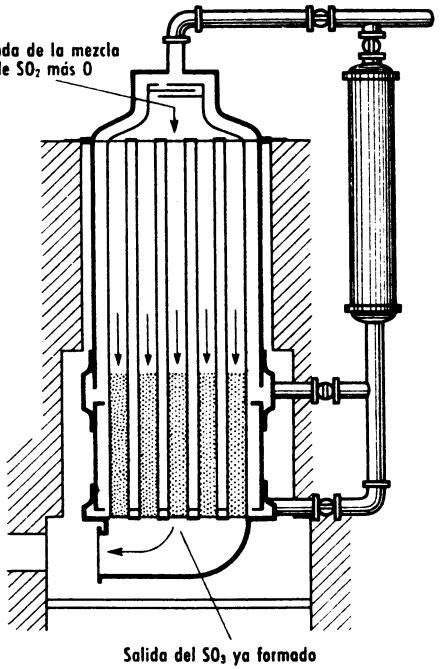
$$SO_4H_2 + SO_3 = S_2O_7H_2$$

y posteriormente el ácido pirosulfúrico obtenido se mezcla con las debidas precauciones con la cantidad teórica de agua necesaria para formar ácido sulfúrico:

$$S_2O_7H_2 + H_2O = 2\, SO_4H_2$$

Una parte de este ácido sirve para recoger nuevas cantidades de anhídrido sulfúrico y otra se retira y se envasa.

Propiedades físicas del ácido sulfúrico. — *El ácido sulfúrico puro es un líquido inodoro e incoloro muy denso (D = 1,84), de aspecto oleoso,* de donde proviene el nombre de aceite de vitriolo. *Se disuelve en el agua en todas proporciones con desprendimiento de gran cantidad de calor,* debido a que se forman asociaciones de moléculas de ácido y agua (hidratos) muy estables, lo que prueba la gran afinidad del ácido para el agua.



El anhídrido sulfúrico, base de la fabricación del ácido sulfúrico, se obtiene por oxidación del anhídrido sulfuroso por el oxígeno del aire haciendo pasar la mezcla a través de un catalizador que facilita la reacción.

El calor desprendido al disolver el ácido sulfúrico concentrado en agua es tan grande, que puede hacer hervir la mezcla y hacer que se proyecte. Por esta razón *la mezcla de ácido y agua se debe hacer con gran precaución, añadiendo el ácido sobre el agua*, nunca al contrario, poco a poco y agitando continuamente.

Cuando el ácido sulfúrico completamente puro se calienta se descompone parcialmente desprendiendo SO_3 y enriqueciéndose en agua, hasta que su concentración queda reducida al 98,3 %, que es la concentración del ácido sulfúrico concentrado del comercio y entonces hierve a temperatura constante de 273°. Cuando se calienta el ácido sulfúrico diluido, se desprende en cambio agua y el ácido se concentra, también, hasta llegar a 98.3 % de riqueza.

Propiedades químicas del ácido sulfúrico. — El ácido sulfúrico concentrado, debido a su gran afinidad por el agua, *es un agente deshidratante enérgico*. Se apodera del vapor de agua de la atmósfera, por lo que se usa en los desecadores de laboratorio, y haciendo pasar a través de ácido sulfúrico concentrado una corriente de gas húmedo, retiene la humedad, saliendo el gas muy seco.

La avidez del ácido sulfúrico por el agua, no se limita a la que se encuentra libre, sino que llega a descomponer muchas sustancias que contienen hidrógeno y oxígeno, sustrayéndolos bajo la forma de agua. Así, *«carboniza» muchas materias orgánicas,* como sacarosa, papel, madera, etc., dejando carbón libre:

$$C_{12}H_{22}O_{11} = 12\,C + 11\,H_2O$$
(sacarosa)

El ácido sulfúrico concentrado posee una acción oxidante enérgica, debido a que, a temperatura elevada, se disocia parcialmente en anhídrido sulfúrico y agua manifestándose la acción oxidante del SO_3. Así, el ácido sulfúrico concentrado y caliente ataca los metales seminobles (cobre, mercurio, etc.) que no se atacan por el ácido diluido y lo mismo al carbón, desprendiéndose anhídrido sulfuroso que es el producto de la reducción del SO_3:

$$2\,SO_4H_2 + Cu = SO_2 + SO_4Cu + 2\,H_2O$$
$$2\,SO_4H_2 + C = 2\,SO_2 + CO_2 + 2\,H_2O$$

Por su escasa volatilidad y elevado punto de ebullición, descompone las sales de los ácidos más volátiles que él, dejando libres estos ácidos. Por ello se emplea para la obtención de los ácidos clorhídrico, nítrico, etc., tratando un cloruro, un nitrato, etc., con ácido sulfúrico concentrado en caliente:

$$ClNa + SO_4H_2 = SO_4HNa + ClH$$
$$NO_3Na + SO_4H_2 = SO_4HNa + NO_3H$$

El ácido sulfúrico diluido en agua se encuentra disociado dando iones hidrógeno. En consecuencia *el ácido sulfúrico diluido presenta las propiedades generales de los ácidos,* y actúa sobre muchos metales (menos los metales nobles y seminobles) produciendo sulfato metálico y desprendiendo hidrógeno:

$$SO_4H_2 + Zn = SO_4Zn + H_2$$

Aplicaciones del ácido sulfúrico. — La importancia industrial del ácido sulfúrico es enorme por el gran número de sus aplicaciones, siendo entre otras la fabricación de sulfato amónico y superfosfatos, la refinación del petróleo, la fabricación de productos químicos, ácidos, sulfatos, colorantes, drogas y desinfectantes. También se emplea en las industrias de explosivos, en metalurgia para limpiar la superficie de los metales, y como electrólito en la refinación de muchos metales, etc.

Sulfatos. — *Los sulfatos son las sales del ácido sulfúrico, obtenidas teóricamente cuando se sustituye el hidrógeno del ácido por un metal.* Pueden ser ácidos o neutros, según se sustituya uno solo de los hidrógenos del ácido o los dos. Así, con el sodio forma el sulfato ácido de sodio SO_4HNa y el

sulfato neutro de sodio SO_4Na_2. Los sulfatos ácidos se llaman también bisulfatos.

Los sulfatos son sales bien cristalizadas y solubles en agua con la excepción de los sulfatos de calcio, estroncio y bario (metales alcalinotérreos) y de plomo.

Todos los sulfatos solubles y el ácido sulfúrico reaccionan con el cloruro bárico, dando un precipitado blanco de sulfato de bario:

$$SO_4H_2 + Cl_2Ba = 2\,ClH + SO_4Ba$$

Esta reacción sirve para el reconocimiento del ácido sulfúrico y de los sulfatos solubles.

Ejercicios

¿En qué consiste esencialmente la obtención del ácido sulfúrico?

Citar algunas propiedades físicas y químicas del ácido sulfúrico.

¿Por qué carboniza el ácido sulfúrico concentrado a muchas materias orgánicas? ¿En qué consiste la acción oxidante del ácido sulfúrico concentrado? Poner algún ejemplo.

Explicar la acción del ácido sulfúrico diluido sobre los metales más activos. Poner un ejemplo escribiendo la reacción correspondiente.

Citar alguna aplicación importante del ácido sulfúrico.

¿Qué son los sulfatos? Citar algunos sulfatos importantes.

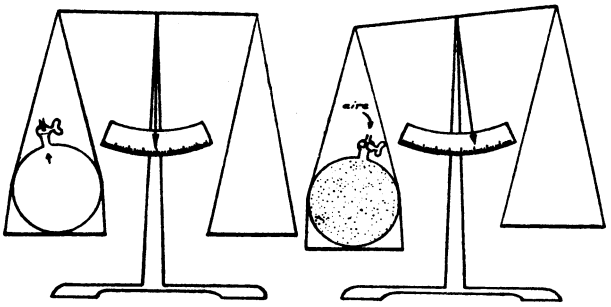
Explicar en qué consiste el reconocimiento del ácido sulfúrico y de los sulfatos por su reacción con el cloruro bárico, escribiendo las reacciones correspondientes.

39. EL AIRE

El aire. Generalidades. — *El aire es la mezcla de gases que forma la atmósfera.*

El aire fue considerado por los antiguos como un elemento hasta que en la segunda mitad del siglo XVIII varios investigadores demostraron que se trataba de una mezcla de gases, dando al mismo tiempo la proporción de sus componentes.

Composición del aire. — *Los componentes del aire son el nitrógeno, el oxígeno, los gases nobles o gases inertes, el anhídrido carbónico, el vapor de agua y el polvillo atmosférico.* De ellos, los tres primeros se encuentran en proporción casi constante y los tres restantes en proporción variable según el lugar y el tiempo.



Un litro de aire pesa 1,293 g.

Además de los componentes citados, que se pueden denominar componentes constantes, existen otros componentes accidentales, cuya presencia depende del lugar. Así, por ejemplo, en el aire de las grandes ciudades se encuentra el óxido de carbono que procede del escape de los motores de automóviles; el amoníaco que procede en ciertos lugares de la descomposición de la materia orgánica; y los óxidos de nitrógeno y el ozono que se encuentra en el aire como consecuencia de las descargas eléctricas después de las tormentas.

La composición aproximada del aire seco es la siguiente:

	% en volumen	% en peso
Nitrógeno	78,0	75,52
Oxígeno	21,0	23,0
Gases nobles	0,94	1,42
Anhídrido carbónico . . .	0,03	0,03
Otros componentes	0,03	0,03

La composición del aire se mantiene aproximadamente constante, debido a que cada uno de sus componentes realiza un ciclo saliendo de la atmósfera y volviendo a ella continuamente.

El oxígeno es consumido en la respiración de los animales y vegetales, que toman del aire el oxígeno y devuelven a la atmósfera anhídrido carbónico. Simultáneamente, mediante la función clorofílica de las plantas, que se realiza por sus partes verdes, el anhídrido carbónico es absorbido y mientras el carbono queda retenido, el oxígeno es devuelto a la atmósfera.

El nitrógeno atmosférico se consume en gran cantidad por el hombre para la fabricación de abonos nitrogenados y ciertas bacterias (bacterias nitrificantes) lo fijan a los suelos de donde lo toman las plantas que lo necesitan para su alimentación, por lo que el nitrógeno termina formando

parte de la materia vegetal y animal. Pero vuelve continuamente al aire en los procesos de putrefacción de la materia orgánica.

El vapor de agua se condensa en la atmósfera formando las nubes y cae luego a la tierra en forma de lluvia, nieve o granizo, pero es continuamente repuesto a la atmósfera por la evaporación de los mares y ríos.

El aire es una mezcla. — La afirmación de que el aire es una mezcla de gases se funda en diversos hechos comprobados.

1. *La composición del aire no es rigurosamente constante.* Concretamente la proporción de oxígeno y nitrógeno varía de unos lugares a otros. Puesto que los compuestos químicos están siempre constituidos por los mismos elementos y en idéntica proporción (ley de las proporciones definidas), se deduce que el aire es una mezcla.

2. Según la ley de Gay-Lussac, los volúmenes de gases que se combinan para formar un compuesto gaseoso, se encuentran en proporción sencilla. En cambio, *la proporción del oxígeno y nitrógeno que forman el aire no es sencilla*, sino de 7:26, lo que también hace suponer que no se trata de una combinación.

3. Cuando dos cuerpos se reúnen para formar un compuesto, éste tiene propiedades físicas y químicas diferentes a las de sus componentes. Por el contrario, *el aire tiene las propiedades de sus componentes:* a) *Su densidad* es la densidad media de sus componentes calculada teniendo en cuenta la proporción de cada uno de ellos; b) cuando se disuelve el aire en agua, cada componente lo hace según su propia *solubilidad;* c) cuando se destila el aire líquido, cada uno de sus componentes lo hace a su temperatura propia de ebullición. Desde el punto de vista químico, también cada componente conserva sus propiedades, de forma que las propiedades del aire son las de sus componentes.

4. Cuando varios cuerpos se unen para formar una combinación, se producen en general manifestaciones energéticas, cambios de volumen, etc. *Cuando se forma aire reuniendo sus componentes en la proporción adecuada, no se observa,* por el contrario, *ningún cambio característico.*

Todas estas pruebas llevan a la conclusión dicha al principio de que el aire es una mezcla y no una combinación.

Propiedades del aire. — *No siendo el aire un cuerpo puro sino una mezcla, sus propiedades son, como se ha dicho, las de sus componentes.*

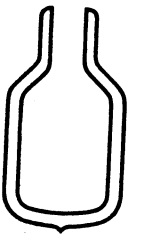
Si se pesan 22,412 litros de aire, se obtiene un peso de 28,978 g, es decir, en números redondos, 29 gramos. Es decir, un litro de aire pesa 1,293 g.

Puede realizarse el peso de una masa de aire, pesando un matraz provisto de llave en el que previamente se ha hecho el vacío perfecto. A continuación se abre la llave dejando entrar el aire y se vuelve a pesar.

Aunque el aire es una mezcla de gases, no puede decirse que 29 sea su peso molecular, pero *prácticamente 29 representa el peso molecular medio del aire.*

Se licua por debajo de los 146° bajo cero sometiéndolo a presión elevada (unas 50 atmósferas).

El aire líquido es incoloro o con ligero color azul, movible y transparente. Por su baja temperatura solidifica en su seno a muchos gases, y muchas sustancias, como vegetales, carne, goma, etc., endurecen y se vuelven frágiles, rompiéndose por golpe. Por la gran cantidad de oxígeno que contiene, aviva las combustiones a pesar de su temperatura sumamente



El aire líquido se conserva en frascos de Devar. Aquí vemos la sección de uno de estos vasos.

baja. Se conserva en vasos de Devar (termos) abiertos, pues al absorber calor y evaporarse, produciría presiones elevadísimas que harían estallar los recipientes cerrados.

Desde el punto de vista químico, el aire presenta las propiedades del oxígeno, aunque aminoradas por la presencia del nitrógeno que, por su carácter inerte, rebaja la actividad del oxígeno. En su seno se oxidan muchos metales y se verifican las combustiones.

Los gases nobles. — Los gases nobles son el helio, neón, argón, kriptón y radón o xenón y se caracterizan por su completa inactividad química.

El helio se descubrió primeramente en el sol mediante el espectroscopio. Posteriormente se encontró en el aire junto con los restantes (menos el radón), en donde se encuentran en conjunto en la proporción del 1 %. Finalmente, *el radón* fue descubierto en los minerales radiactivos.

Los cuatro primeros se obtienen del aire líquido por cuidadosa destilación fraccionada. El helio se obtiene también del gas natural que se desprende de los depósitos petrolíferos de Canadá y Texas.

Son gases incoloros, inodoros e insípidos, cuyas densidades y puntos de ebullición crecen a medida que aumenta su peso atómico. Son buenos conductores de la electricidad.

El helio se emplea por su escasa densidad, para llenar globos y también para fabricar termómetros de gas. El argón se emplea para llenar lámparas de incandescencia. Sirven también para llenar tubos para anuncios luminosos y el radón, por sus propiedades radiactivas, se emplea para combatir tumores malignos.

Ejercicios

¿Cuáles son los componentes esenciales del aire y en qué proporción aproximada lo forman?

¿Por qué se mantiene constante la composición del aire?

¿Qué razones se pueden aducir para probar que el aire es una mezcla y no una combinación?

Citar algunas propiedades del aire.

¿Cuáles son los gases nobles? ¿Cómo se obtienen? Citar algunas de sus aplicaciones.

40. EL NITRÓGENO

El nitrógeno. Estado en la naturaleza. — El nitrógeno tiene por símbolo N. Es un elemento muy abundante en la naturaleza; libre, constituye las tres cuartas partes del aire y combinado se encuentra formando compuestos como los nitratos (nitratos de Chile y Perú) y albuminoides, componentes estos últimos de la materia orgánica animal y vegetal. En la destrucción de la materia orgánica, pasa al suelo en forma de compuestos, a cuyo origen se debe la existencia de grandes depósitos de guano y de nitro en algunas regiones del globo.

Obtención del nitrógeno. —*El nitrógeno se obtiene industrialmente por destilación fraccionada del aire líquido,* como se dijo al estudiar el oxígeno, aprovechando que el nitrógeno tiene un punto de ebullición trece grados más bajo que el oxígeno.

En el laboratorio se puede obtener también a partir del aire al que se le priva del oxígeno de varios modos. Por ejemplo, haciendo pasar aire por un tubo que contiene recortaduras de cobre calentadas al rojo, pues el oxígeno se combina con el cobre formando óxido cúprico y es retenido:

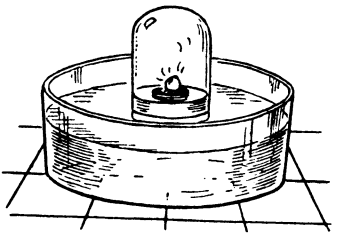
$$O_2 + Cu = CuO$$

También se puede privar del oxígeno al aire contenido debajo de una campana de vidrio haciendo arder en su seno fósforo, el cual se combina con el oxígeno produciendo anhídrido fosfórico:

$$P_4 + 5\,O_2 = P_2O_5$$

el cual se disuelve en el agua que se ha introducido con ese objeto debajo la campana, formando ácido fosfórico.

El nitrógeno se puede separar del aire haciendo arder debajo de una campana de vidrio un poco de fósforo que consume el oxígeno allí encerrado.



Propiedades del nitrógeno. — *El nitrógeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, algo más ligero que el aire y poco soluble en agua* (la mitad que el oxígeno). *Es difícil de liquidar.*

No es tóxico, pero no sirve para la respiración ni permite las combustiones, por lo que en su seno, los seres vivos se asfixian y las combustiones cesan inmediatamente.

Desde el punto de vista químico, el nitrógeno es un gas prácticamente inerte a temperatura ordinaria, mientras que a elevada temperatura o bajo la acción de las descargas eléctricas recobra su aptitud para unirse a otros elementos. Esto es debido a la fuerte unión que existe entre los átomos que forman la molécula de nitrógeno, que solamente se debilita a temperatura muy elevada.

Esta circunstancia se utiliza para hacer reaccionar al nitrógeno con el hidrógeno, oxígeno, carburo de calcio y carburo de aluminio, que son los mejores métodos industriales para el aprovechamiento del nitrógeno atmosférico.

La unión del nitrógeno con el hidrógeno se verifica a temperaturas relativamente bajas en presencia de catalizadores, que facilitan la reacción. En la industria esta reacción se realiza entre el nitrógeno obtenido por destilación fraccionada del aire líquido y el hidrógeno obtenido del agua por electrólisis o por acción del vapor de agua sobre carbón al rojo (véase esta reacción en el capítulo del hidrógeno, pág. 235). En esta reacción se produce amoníaco:

$$N_2 + 3\,H_2 \Longleftrightarrow 2\,NH_3$$

de ella volveremos a hablar al estudiar este cuerpo.

La reacción entre el nitrógeno y el oxígeno tiene lugar haciendo pasar la mezcla de estos gases a través del arco eléctrico y se obtiene óxido nítrico:

$$N_2 + O_2 = 2\,NO,$$

que luego sirve para la obtención de ácido nítrico y nitratos.

La reacción con el carburo de calcio, tiene lugar cuando se hace pasar una corriente de nitrógeno sobre carburo de calcio a temperatura elevada, produciéndose una mezcla de cianamida cálcica y carbón:

$$C_2Ca + N_2 = CN_2Ca + C.$$

El producto obtenido de este modo, o sea la cianamida cálcica, se emplea a veces directamente como abono, o bien se trata con vapor de agua sobrecalentado que la descompone produciendo amoníaco:

$$CN_2Ca + 3\,H_2O = CO_3Ca + 2\,NH_3.$$

El nitrógeno tiene enorme importancia en la economía natural por ser necesario para el mantenimiento de la vida sobre la tierra. Tiene gran importancia en la industria de los colorantes y explosivos y en la fabricación de abonos artificiales.

Ciclo del nitrógeno en la naturaleza. — El nitrógeno según hemos dicho se encuentra tanto libre como combinado. Este último, según la naturaleza del compuesto que forma recibe el nombre de nitrógeno amoniacal (amoníaco y sales amónicas), nitrógeno nítrico (ácido nítrico y nitratos) y nitrógeno albuminoideo (albuminoides).

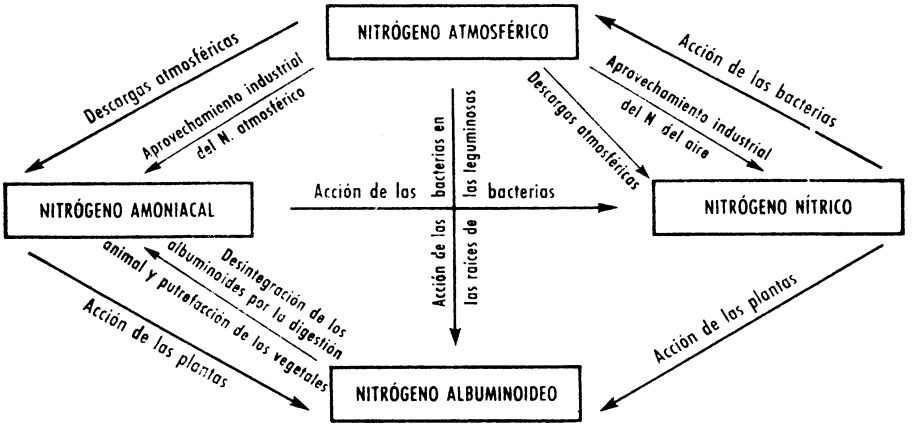
Entre las tres formas de nitrógeno citadas existen relaciones bastante complicadas que pueden resumirse de manera elemental de la forma siguiente:

El nitrógeno atmosférico se convierte en nitrógeno nítrico o amoniacal por ciertos procesos naturales, especialmente por la acción de las descargas eléctricas en el aire húmedo, y también por los procesos industriales de aprovechamiento del nitrógeno atmosférico. El nitrógeno nítrico o amoniacal, lo toman las plantas del suelo y lo transforman en nitrógeno albuminoideo, el cual por la putrefacción de las plantas o por la de los animales que se alimentaron de ellas, pasa de nuevo a nitrógeno amoniacal (urea, ácido úrico, etc.) que queda otra vez en el suelo y puede ser utilizado de nuevo por las plantas. Según esto, el nitrógeno libre del aire se iría transformando en nitrógeno combinado, pero esta tendencia se ve compensada por la actividad de diversas clases de bacterias, pues mientras unas transforman también el nitrógeno libre en nitrógeno albuminoideo, otras transforman el nitrógeno amoniacal en nitrógeno nítrico y otras, por fin, transforman el nitrógeno nítrico en nitrógeno libre. De esta manera se completa el ciclo del nitrógeno, que partiendo del nitrógeno libre del aire vuelve a él de manera continua.

Todas las acciones anteriores pueden resumirse en el siguiente cuadro:

Óxidos de nitrógeno. — El nitrógeno se combina en distintas proporciones con el oxígeno y da lugar a diferentes óxidos, de los cuales los más importantes son los siguientes:

Óxido nítrico, NO.
Anhídrido nitroso, N_2O_3.
Bióxido de nitrógeno, NO_2.
Anhídrido nítrico, N_2O_5.



Ciclo del nitrógeno en la Naturaleza.

En estos óxidos, el nitrógeno actúa con valencia 2, 3, 4 y 5, respectivamente.

De ellos, el segundo y cuarto tienen carácter de anhídrido; es decir, que son capaces de reaccionar con el agua dando ácidos, según las siguientes ecuaciones:

$$N_2O_3 + H_2O = 2\,NO_2H$$
$$N_2O_5 + H_2O = 2\,NO_3H$$

Estos ácidos, cuyos nombres son ácido nitroso y ácido nítrico, respectivamente, son muy importantes y muy especialmente el último, al que dedicaremos mayor atención.

El bióxido de nitrógeno tiene en la práctica carácter de anhídrido mixto, pues cuando reacciona con el agua muy fría da lugar a una mezcla de ácido nitroso y nítrico, según la ecuación:

$$2\,NO_2 + H_2O = NO_2H + NO_3H.$$

Ejercicios

¿Dónde y cómo se encuentra el nitrógeno? Dígase cómo se puede obtener en el laboratorio y en la industria.

Citar algunas propiedades del nitrógeno y explicar las reacciones de este elemento con el hidrógeno y con el oxígeno.

Explíquese el ciclo del nitrógeno en la Naturaleza.

¿Cuáles son los óxidos y ácidos más importantes del nitrógeno?

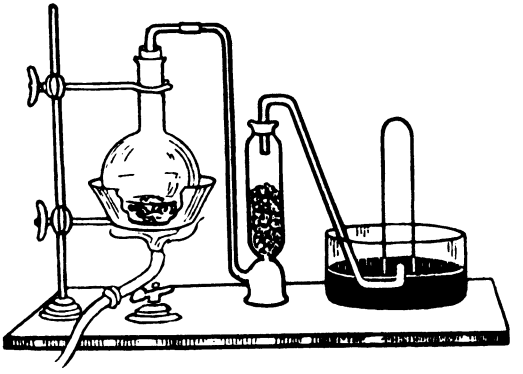
41. EL AMONÍACO

Amoníaco. Generalidades. — El amoníaco es uno de los compuestos más importantes del nitrógeno. Tiene por fórmula NH_3. Se forma en la naturaleza por fermentación de las materias orgánicas nitrogenadas, por cuya razón se encuentra en las tierras de labor bajo la forma de compuestos amoniacales, y a cuyo proceso se debe seguramente la existencia de grandes depósitos de guano en ciertas islas del Pacífico.

Obtención del amoníaco. — *El amoníaco se obtiene en la industria por el método de Haber, que consiste en la unión directa (síntesis) de sus elementos,* según la ecuación:

$$N_2 + 3\,H_2 \rightleftharpoons 2\,NH_3$$

Esta reacción a temperatura ordinaria es sumamente lenta, y a temperatura elevada cuando la reacción sería rápida, el tanto por ciento de nitrógeno e hidrógeno que se transforma en amoníaco es muy pequeña, por lo que tampoco se obtienen resultados aceptables. El problema se resuelve llevando a cabo la reacción a temperatura relativamente baja, pero en presencia de catalizadores que facilitan la reacción.



El amoníaco se obtiene en los laboratorios calentando una mezcla de cloruro amónico con cal apagada y el amoníaco gaseoso se recoge en una cuba que contiene mercurio, como se ve en la figura.

Además, como según se deduce de la ecuación anterior, un volumen de nitrógeno se une a tres de hidrógeno para formar dos de amoníaco, es decir, como la reacción tiene lugar con una contracción de volumen, se puede ayudar aumentando la presión de los gases reaccionantes.

En la práctica la reacción se verifica a una presión de 200 atmósferas y a temperatura de 500° en presencia de hierro metálico sometido a tratamiento especial, que actúa como catalizador.

El nitrógeno que se emplea en la industria procede del aire, por destilación fraccionada del aire líquido y el hidrógeno del agua por electrólisis o por acción del vapor de agua sobre carbón al rojo.

En el laboratorio se obtiene por la acción entre el cloruro amónico y la cal apagada (hidróxido cálcico) que reaccionan según la siguiente ecuación:

$$2\,ClNH_4 + Ca(OH)_2 = Cl_2Ca + 2\,H_2O + 2\,NH_3$$

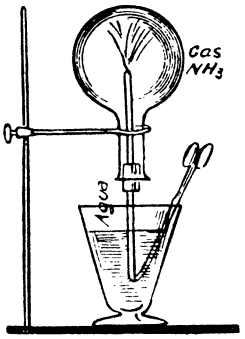
Para la reacción sirve igualmente cualquier sal amónica y cualquier hidróxido, y el amoníaco gaseoso que se desprende se hace pasar por un tubo que contiene cloruro cálcico para privarle de la humedad que arrastra y se recoge en una cuba que contiene mercurio como se indica en la figura adjunta.

Propiedades físicas del amoníaco. — *El amoníaco es un gas incoloro de olor picante característico que provoca el lacrimeo. Es más ligero que el aire y se liquida fácilmente por presión a temperatura ordinaria* (a 20° basta una presión de 8,5 atmósferas). El amoníaco líquido es un buen disolvente de muchas sustancias y las sales disueltas en amoníaco líquido conducen la corriente eléctrica porque están disociadas.

El amoníaco líquido tiene un elevado calor específico y también muy elevado calor de vaporización, por lo cual al evaporarse produce un fuerte descenso de la temperatura. (Un gramo de amoníaco líquido absorbe al pasar a vapor 330 calorías.) Por esta razón se emplea para producir frío en neveras y máquinas frigoríficas, lo mismo que se dijo del anhídrido sulfuroso.

Para ello el amoníaco se comprime mediante un compresor y se licua en un serpentín, donde el calor producido por la compresión se elimina mediante una lluvia de agua fría o simplementne por medio de un ventilador. El amoníaco líquido pasa entonces a través de una válvula al serpentín de expansión, donde se reduce la presión y se evapora absorbiendo gran cantidad de calor. El amoníaco gaseoso pasa nuevamente al compresor y repite el ciclo continuamente. El serpentín de expansión es el que rodea el congelador de la nevera, o bien en las fábricas de hielo, está sumergido en una salmuera de Cl_2Ca que se enfría hasta — 33°, en la cual hay unos tanques llenos de agua que se congela rápidamente.

El amoníaco es muy soluble en agua. A 0°, un litro de agua disuelve



Al romperse el extremo del tubo, el amoníaco que contiene el matraz se disuelve en el agua rápidamente y ésta penetra en aquél en forma de surtidor.

1176 litros de amoníaco. La gran solubilidad del amoníaco puede comprobarse con el siguiente experimento: Se toma un matraz y se llena de amoníaco gaseoso, tapándolo mediante un tapón atravesado por un tubo provisto de una llave de paso, invirtiendo el matraz e introduciendo el extremo del tubo en un vaso conteniendo agua, al abrir la llave el agua sube por el tubo y entra en el matraz en forma de surtidor. Esto se debe a que al disolverse el amoníaco rápidamente en agua, se produce un vacío en el matraz que llena el agua subiendo por el tubo.

Propiedades químicas del amoníaco. — La disolución acuosa de amoníaco presenta propiedades básicas que no tiene el amoníaco seco, por lo que se admite que *el amoníaco se combina con el agua formando hidróxido amónico*, según la ecuación:

$$NH_3 + H_2O = NH_4OH$$

el cual se encuentra disociado débilmente en iones NH_4^+, llamados iones amonio e iones oxhidrilo OH^-, a cuya presencia se deben las propiedades básicas de la disolución:

$$NH_4OH \rightarrow NH_4^+ + OH$$

Esta reacción se debe a la facilidad del amoníaco para unirse a un ion hidrógeno para formar el ion amonio, y por esta misma razón *el amoníaco se une a los ácidos produciendo las llamadas sales amónicas.* Estas sales están formadas por un radical ácido unido a tantos radicales amonio como valencias tiene. Así, los ácidos clorhídrico, nítrico y sulfúrico, dan con el amoníaco las sales denominadas cloruro amónico, nitrato amónico y sulfato amónico, según las ecuaciones siguientes:

$$ClH + NH_3 = ClNH_4$$
$$NO_3H + NH_3 = NO_3NH_4$$
$$SO_4H_2 + 2\,NH_3 = SO_4(NH_4)_2$$

El amoníaco se oxida fácilmente por el aire o por el oxígeno. Los productos de la oxidación son distintos según las condiciones de la reacción: En oxígeno puro, el amoníaco arde dando nitrógeno y agua:

$$4\,NH_3 + 3\,O_2 = 2\,N_2 + 6\,H_2O$$

En presencia de catalizadores, el amoníaco se oxida por el aire dando agua y óxido nítrico:

$$4\,NH_3 + 5\,O_2 = 4\,NO + 6\,H_2O$$

Como el óxido nítrico formado puede transformarse en ácido nítrico y en nitratos, esta reacción tiene gran importancia industrial y de ella volveremos a tratar al estudiar el ácido nítrico.

El amoníaco se reconoce fácilmente por su olor y también por dar humos blancos y espesos al aproximar una varilla humedecida con ácido clorhídrico, debido a la reacción de los vapores de amoníaco y ácido clorhídrico y formación de cloruro amónico.

Tiene grandes aplicaciones en la fabricación de explosivos, abonos y en la industria química. Su obtención por el método de Haber y posterior transformación en compuestos de nitrógeno, es el mejor medio de aprovechamiento del nitrógeno atmosférico.

Sales amónicas. — Las sales amónicas se forman como se ha dicho por la unión del amoníaco con los ácidos y *se caracterizan por contener el radical amonio NH_4, que juega en ellas el papel de un metal monovalente.*

Efectivamente, las sales amónicas se parecen en su aspecto y propiedades a las sales potásicas especialmente. Son todas solubles en agua con excepción del cloroplatinato amónico y de sus disoluciones se obtienen sólidas y bien cristalizadas por evaporación.

Se diferencian de las sales potásicas y de las restantes sales en que *se descomponen a elevada temperatura,* dando amoníaco y ácido libre:

$$ClNH_4 = ClH + NH_3$$

En disolución alcalina, es decir, que contiene iones hidroxilo, se descomponen dando amoníaco libre, según las ecuaciones siguientes:

$$ClNH_4 + NaOH = ClNa + NH_4OH$$
$$NH_4OH = NH_3 + H_2O$$

por lo que el líquido huele a amoníaco y al calentarlo desprende vapores del mismo. Esta reacción sirve para el reconocimiento de las sales amónicas.

Las sales amónicas en disolución acuosa se encuentran fuertemente disociadas y conducen por tanto la corriente eléctrica:

$$ClNH_4 \rightarrow Cl^- + NH_4^+$$

Cuando se electroliza la disolución de una sal amónica, en el electrodo negativo se desprende una mezcla de amoníaco e hidrógeno, debido a la descomposición del radical amonio separado por la corriente, por lo cual el amonio no se conoce libre.

Las sales amónicas tienen mucho interés, especialmente el cloruro, nitrato y sulfato amónico. El nitrato amónico se emplea en la industria de los explosivos y el sulfato amónico se emplea como abono nitrogenado y para la obtención de otros compuestos amónicos.

Ejercicios

¿Qué es el amoníaco y cuál es su fórmula?

Explicar la obtención del amoniaco por síntesis. ¿Qué dificultades presenta esta obtención? ¿Cómo se favorece la síntesis del amoníaco??

Citar algunas propiedades del amoníaco. ¿A qué se debe la relación alcalina que presenta la disolución de amoníaco en agua?

¿Cómo se verifica la oxidación catalítica del amoníaco y de qué industria es base esta oxidación?

¿Qué son las sales amónicas? ¿Qué radical las caracteriza? Citar algunas sales amónicas y decir cuáles son sus propiedades más importantes.

¿Cuál es la principal aplicación del sulfato amónico?

42. ÁCIDO NÍTRICO

Ácido nítrico. Su obtención. — El ácido nítrico tiene por fórmula NO_3H y se conoce en el comercio con el nombre de *agua fuerte.*

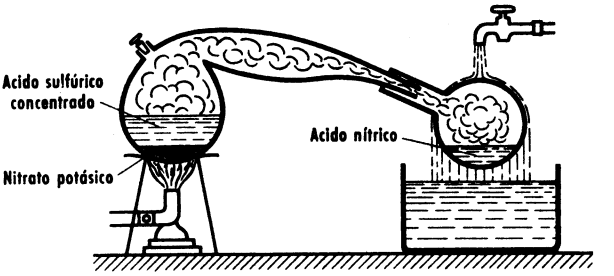
El ácido nítrico se obtenía industrialmente por la acción del ácido sulfúrico sobre el nitrato sódico a 130°:

$$NO_3Na + SO_4H_2 = SO_4HNa + NO_3H$$

y si la reacción se lleva a 200°, el sulfato ácido de sodio reacciona con una nueva molécula de nitrato dando otra molécula de ácido, por lo que se obtiene doble rendimiento:

$$SO_4HNa + NO_3Na = SO_4Na_2 + NO_3H,$$

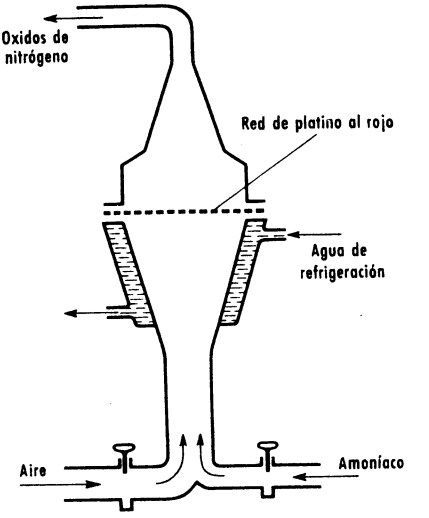
pero el ácido que se obtiene no es tan puro debido a que una parte de él se descompone con separación de dióxido de nitrógeno NO_2, que lo tiñe de amarillo. Esta reacción se suele emplear también en el laboratorio, donde no se suele pasar de la primera fase.



El ácido nítrico se obtiene en el laboratorio por acción del ácido sulfúrico concentrado sobre el nitrato potásico, y los vapores de ácido se condensan en el matraz de la derecha, que está refrigerado.

En la industria la reacción tenía lugar en calderas de fundición de gran capacidad y los vapores de ácido nítrico eran conducidos a un frasco de gres, donde depositan la espuma, y luego, después de atravesar un serpentín de arcilla donde se enfrían y condensan, a una serie de bombonas de condensación también de gres comunicantes entre sí, donde se recoge el ácido en estado líquido.

La industria moderna obtiene el ácido nítrico a partir del nitrógeno del aire, para lo cual se obtiene primeramente óxido nítrico y dióxido de nitrógeno. Esto se consigue por dos procedimientos: Uno por unión directa de sus elementos mediante el arco eléctrico; el otro por oxidación del amoníaco. De estos dos procedimientos, el primero ha sido sustituido por el



El óxido nítrico, base de la fabricación industrial del ácido nítrico, se obtiene por oxidación del amoníaco por el oxígeno del aire, haciendo pasar la mezcla de gases a través de una red de platino al rojo.

segundo, debido a que requiere disponer de energía eléctrica muy barata.

El método de la oxidación del amoníaco o de Ostwald se practica haciendo pasar una mezcla de amoníaco gaseoso y aire enriquecido con oxígeno a través de una malla de platino a temperatura de 700° a gran velocidad, en cuyas condiciones se verifica la reacción:

$$4\,NH_3 + 5\,O_2 = 4\,NO + 6\,H_2O$$

El óxido nítrico a temperatura inferior a los 600° reacciona con el oxígeno nuevamente, y se forman vapores rojos de dióxido de nitrógeno:

$$2\,NO + O_2 = 2\,NO_2$$

Una vez conseguida la formación del NO_2 estos vapores se dirigen a través de torres de material inatacable llenas de esferitas de material silíceo, donde reciben a contracorriente una lluvia de agua con la que reaccionan según la ecuación:

$$3\,NO_2 + H_2O = 2\,NO_3H + NO$$

Los vapores de óxido nítrico se oxidan de nuevo por el oxígeno del aire y entran en una segunda torre donde se repite el proceso hasta absorberse las últimas porciones de NO_2.

Así se obtiene un ácido nítrico hasta de un 50 %, que se emplea luego para obtener ácido puro o para la fabricación de nitratos.

Propiedades del ácido nítrico. — *El ácido nítrico puro es un líquido incoloro de olor muy picante.* Cuando se calienta se descompone parcialmente:

$$4\,NO_3H = 4\,NO_2 + 2\,H_2O + O_2,$$

dando vapores ricos en NO_2, y enriqueciéndose en agua, hasta que contenga un 4 % de ella, a partir de cuyo momento destila el ácido incoloro, a temperatura de 86°.

Se disuelve en agua en todas proporciones y las disoluciones destilan ácido o agua según sean concentradas o diluidas elevándose progresivamente la temperatura hasta alcanzar la de 120,5°, a la cual la composición del líquido y de los vapores es la misma y corresponde a un ácido del 69 % de concentración, que es el ácido nítrico concentrado del comercio (densidad: 1,41).

Desde el punto de vista químico, el ácido nítrico se caracteriza por su fuerte carácter oxidante. Ahora bien, en las oxidaciones producidas por el ácido nítrico, los productos de la reacción son distintos según que el ácido esté concentrado o diluido: Si el ácido es concentrado ($d = 1,4$) la oxidación va acompañada del desprendimiento de vapores de NO_2. Así sucede, cuando se calienta ácido concentrado con recortaduras de cobre, el cual se disuelve mientras se desprenden abundantes humos rojos de NO_2:

$$4\,NO_3H + Cu = (NO_3)_2Cu + 2\,NO_2 + 2\,H_2O$$

En cambio, si el ácido es diluido, la reacción con el cobre tiene lugar sin desprendimiento de vapores rojos, según la ecuación:

$$8\,NO_3H + 3\,Cu = 3\,(NO_3)_2Cu + 4\,H_2O + 2\,NO$$

El ácido nítrico también oxida a muchos elementos no metálicos. Así, dejando caer ácido nítrico concentrado gota a gota sobre carbón en polvo al rojo, arde violentamente desprendiendo llamas y el azufre se convierte en ácido sulfúrico, también por la acción oxidante del ácido nítrico:

$$S + 2\,NO_3H = SO_4H_2 + 2\,NO.$$

Una mezcla de tres partes de ácido clorhídrico concentrado y una de ácido nítrico concentrado, se conoce con el nombre de agua regia, debido a que disuelve al oro, llamado por los alquimistas el rey de los metales. En el agua regia, el ácido nítrico oxida al ácido clorhídrico produciéndose cloro libre, y óxido nítrico como producto de la reducción del ácido nítrico. Estos productos se unen formando el compuesto llamado cloruro de nitrosilo. La acción oxidante enérgica del agua regia se debe al cloro naciente y al cloruro de nitrosilo (ClNO):

$$NO_3H + 3\,CH = 2\,H_2O + Cl_2 + ClNO.$$

El ácido nítrico diluido se encuentra fuertemente disociado, siendo un ácido fuerte, y presentando como tal las características generales de los ácidos. Así disuelve los óxidos, formando nitrato metálico y agua:

$$2\,NO_3H + CaO = (NO_3)_2Ca + H_2O$$

actúa sobre los hidróxidos:

$$NO_3H + NaOH = NO_3Na + H_2O$$

y disuelve los carbonatos, con desprendimiento de CO_2:

$$NO_3H + CO_3Na = NO_3Na + H_2O + CO_2.$$

Nitratos. — Los nitratos son, como se ha dicho, las sales del ácido nítrico, y resultan teóricamente de la sustitución del hidrógeno de éste por los metales.

Algunos nitratos se encuentran en la naturaleza, especialmente el nitrato sódico que se encuentra en grandes yacimientos en Chile y Perú.

Los nitratos naturales proceden en general de la oxidación de los compuestos amoniacales, que resultan a su vez de la putrefacción de las materias orgánicas nitrogenadas. Esa oxidación es producida por ciertas «bacterias nitrificantes» que transforman el amoníaco primeramente en ácido nitroso (NO_2H) y posteriormente en ácido nítrico. Al propio tiempo este ácido va neutralizándose a medida que se forma por reacción con los carbonatos del terreno, y si la neutralización no fuese posible, la formación

de ácido nítrico se paralizaría por muerte de las bacterias en medio excesivamente ácido.

Los nitratos por el calor desprenden oxígeno, por lo que actúan como oxidantes a elevada temperatura. Una mezcla de nitrato potásico, azufre y carbón constituyen la pólvora corriente que detona fuertemente por percusión.

Los nitratos son solubles en agua y sus disoluciones contienen NO_3^-, *por lo que también presentan propiedades oxidantes en medio ácido.*

Ejercicios

¿Qué es el ácido nítrico y cuál es su fórmula?

¿Cómo se obtiene el ácido nítrico en la Industria mediante la oxidación del amoníaco?

Citar algunas propiedades del ácido nítrico. ¿Cuál es la propiedad más saliente del ácido nítrico desde el punto de vista químico?

¿Cómo se explica la disolución del cobre en ácido nítrico? ¿Qué gas se produce en esta reacción?

¿Qué es el agua regia? ¿Cómo se obtiene? ¿Para qué sirve?

¿Qué son los nitratos? Citar los nitratos más importantes e indicar sus principales aplicaciones.

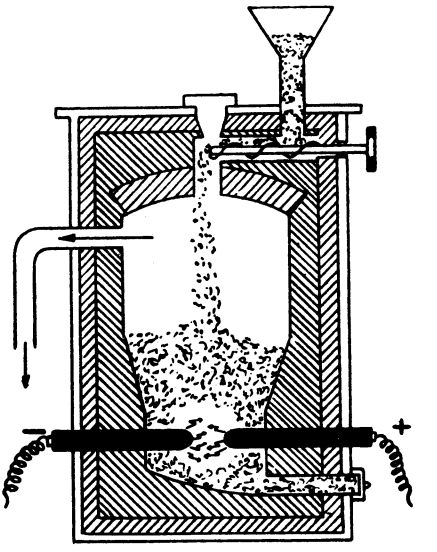
43. FÓSFORO. ABONOS

Fósforo. Estado en la naturaleza. — *El fósforo es un elemento que no se encuentra libre en la naturaleza, sino solamente en forma de compuestos, especialmente como fosforita o fosfato tricálcico* $[(PO_4)_2Ca_3]$, y como apatito, que es un mineral en que el fosfato tricálcico está acompañado de fluoruro y cloruro cálcico. Grandes yacimientos de fosforitas se encuentran en Estados Unidos y en Argelia y Túnez.

Constituye el componente principal de los huesos como fosfato tricálcico y es también componente esencial de la masa cerebral y de los nervios. Las plantas lo necesitan para su alimentación, tomándolo del suelo donde se encuentra como consecuencia de la disgregación de las rocas, y se acumula en las semillas.

Obtención del fósforo. — *El fósforo se obtiene industrialmente a partir de las fosforitas naturales o de las cenizas de huesos.* Si se parte de las fosforitas, se pulverizan previamente. Si se parte de huesos de matadero, se desengrasan mediante disolventes y se les priva de la restante materia orgánica tratándolos con vapor de agua sobrecalentado; después los huesos se calcinan en el aire para obtener las cenizas de huesos.

El fósforo se obtiene en hornos eléctricos, donde se calienta fuertemente una mezcla de fosforita, sílice y carbón.



La fosforita pulverizada o la harina de huesos se mezcla con anhídrido silícico y carbón y la mezcla se introduce en un horno eléctrico donde reaccionan según la ecuación:

$$3\,SiO_2 + (PO_4)_2Ca_3 + 5\,C = 3\,SiO_3Ca + 5\,CO + 2\,P$$

El silicato cálcico formado sale continuamente por la parte inferior del horno mientras que el fósforo en estado de vapor junto con el óxido de carbono salen por la parte superior. Los vapores de fósforo se enfrían y se condensan luego en tubos apropiados.

El fósforo obtenido de esta manera no es puro. Para purificarlo se funde bajo agua caliente y se filtra a través de filtros de carbón y luego a través de una piel de gamuza.

Variedades alotrópicas del fósforo. — El fósforo se presenta en varias formas alotrópicas que difieren mucho en sus propiedades.

a) *Fósforo blanco.* Esta forma de fósforo es incoloro y de aspecto parecido a la cera que funde a 44° y hierve a 280°. No es soluble en agua, pero se disuelve algo en alcohol y muy bien en sulfuro de carbono. Desde el punto de vista químico, el fósforo blanco es sumamente activo: arde en atmósfera de cloro formando tricloruro de fósforo (PCl_3), y en el aire se inflama a 50° formando anhídrido fosfórico (P_2O_5), pero si está finamente dividido, como se obtiene al secarse una tira de papel de filtro empapada en disolución de fósforo en sulfuro de carbono, se inflama espontáneamente a temperatura ordinaria. Por todo ello el fósforo debe conservarse en fras-

cos bajo agua. En el aire emite vapores que se oxidan y a esto se atribuye el que el fósforo es fosforescente en la oscuridad.

Es sumamente venenoso; basta una dosis de 0,15 g para producir la muerte y sus vapores respirados continuamente producen necrosis, es decir, la destrucción de los huesos de la mandíbula y nariz.

b) *Fósforo violeta.* El fósforo blanco no es estable a temperatura ordinaria sino que tiende a transformarse en otra variedad estable que es el fósforo violeta. Sin embargo, la velocidad de transformación es sumamente lenta pero aumenta con la temperatura. Así, fundiendo fósforo blanco en atmósfera inerte y proyectando en la masa fundida una partícula de yodo, se forma yoduro de fósforo que actúa catalíticamente y provoca la transformación del fósforo blanco en fósforo violeta, que queda mezclado con algo de fósforo blanco no transformado. El fósforo violeta no fosforece ni es tóxico, siendo insoluble en sulfuro de carbono. Es más denso que el fósforo blanco y funde cerca de los 600°.

c) *Fósforo rojo.* Se obtiene calentando fuera del contacto del aire el fósforo blanco a temperatura de 280° durante varios días. Así se obtiene una masa amorfa de color rojo llamada fósforo rojo o fósforo amorfo, que se ha demostrado que consiste en una mezcla de fósforo blanco con una disolución sólida de fósforo blanco en fósforo violeta. El fósforo rojo es también inodoro, insoluble en sulfuro de carbono y no es tóxico. Desde el punto de vista químico es mucho menos activo que el fósforo blanco. Se emplea para la fabricación de cerillas.

Óxidos y oxiácidos del fósforo. — Se conocen tres óxidos del fósforo de los cuales los más importantes son el trióxido o anhídrido fosforoso (P_2O_3) y el pentóxido o anhídrido fosfórico (P_2O_5). De éstos el más importante es el anhídrido fosfórico que se forma cuando el fósforo arde en el aire seco, y es una sustancia sólida, amorfa de aspecto parecido a la nieve. El anhídrido fosfórico tiene enorme avidez por el agua, por lo que es un agente deshidratante sumamente enérgico.

De los diversos ácidos oxigenados del fósforo sólo citaremos los que derivan del anhídrido fosforoso y del anhídrido fosfórico, llamados, respectivamente, ácidos fosforosos y ácidos fosfóricos.

Tanto el anhídrido fosforoso como el anhídrido fosfórico pueden unirse a una, dos o tres moléculas de agua, por lo que se conocen tres ácidos fosforosos y otros tres ácidos fosfóricos, que se distinguen con los prefijos meta, piro y orto. Estos ácidos se originan teóricamente y tienen las fórmulas siguientes:

$P_2O_3 + H_2O = 2\,PO_2H$ ácido metafosforoso
$P_2O_3 + 2\,H_2O = P_2O_5H_4$ » pirofosforoso
$P_2O_3 + 3\,H_2O = 2\,PO_3H_3$ » ortofosforoso
$P_2O_5 + H_2O = 2\,PO_3H$ » metafosfórico
$P_2O_5 + 2\,H_2O = P_2O_7H_4$ » pirofosfórico
$P_2O_5 + 3\,H_2O = 2\,PO_4H_3$ » ortofosfórico

De todos los ácidos del fósforo citados el más importante es el ácido ortofosfórico, que en la industria se obtiene tratando las fosforitas naturales o las cenizas de huesos por el ácido sulfúrico concentrado:

$$(PO_4)_2Ca_3 + 3\,SO_4H_2 = 3\,SO_4Ca + 2\,PO_4H_3$$

El ácido ortofosfórico es un líquido muy soluble en agua cuyas disoluciones muestran caracteres ácidos menos fuertes que el ácido clorhídrico o sulfúrico debido a que estos ácidos se encuentran más disociados que el primero. Es un ácido tribásico, por lo que puede dar lugar a tres clases de sales, en que el metal se encuentra unido a uno de los siguientes radicales PO_4H_2 (monovalente), PO_4H (bivalente) o PO_4 (trivalente). De estas sales, llamadas respectivamente ortofosfatos primarios, secundarios y terciarios, el más importante es el ortofosfato tricálcico $(PO_4)_2Ca_3$, llamado corrientemente fosfato tricálcico componente esencial de las fosforitas y materia prima para la obtención de los abonos llamados superfosfatos.

Abonos. — Desde hace siglos se ha venido empleando en Agricultura los llamados abonos, *que son sustancias que se adicionan a los terrenos de labor y que coadyudan al desarrollo y perfecto crecimiento de las plantas.*

En un principio los abonos se empleaban sin conocer su verdadero objeto sino tan sólo porque se habían observado sus buenos efectos sobre las cosechas. Más tarde, cuando la química estuvo en condiciones de conocer los elementos constitutivos de los vegetales, los elementos que se encuentran normalmente en las tierras e incluso la forma como los distintos elementos llegan a formar parte de la materia vegetal, el empleo de los abonos dejó de ser empírico para ser racional y científico.

Elementos que constituyen la materia vegetal. — Hoy día se sabe que la materia vegetal, cualquiera que sea su procedencia contiene catorce elementos indispensables para la existencia y desarrollo de los vegetales. De ellos hay cuatro verdaderamente propios de la materia orgánica, mientras los otros diez se encuentran con preferencia en los compuestos minerales. Los primeros son el carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Los segundos son el fósforo, sodio, potasio, magnesio, calcio, manganeso, hierro, silicio, cloro y azufre.

Estos catorce elementos forman por sí solos todos los compuestos que entran en la formación de los vegetales, de igual manera que las 28 letras del alfabeto pueden formar todas las palabras de cualquier idioma. Los cuatro elementos orgánicos vienen a constituir el 95 %, del vegetal y los diez elementos minerales restantes el otro 5 %, y quedan en las cenizas al quemar los vegetales. Con ellos aparecen también en las cenizas algunos otros elementos, pero en tan escasa proporción que puede prescindirse de ellos.

La asimilación de los elementos por las plantas. — *El carbono lo toman las plantas del anhídrido carbónico del aire.* Es sabido que bajo la influencia de las radiaciones luminosas, las partes verdes de las plantas fijan el carbono del anhídrido carbónico y dejan libre el oxígeno. En esto consiste la función clorofílica de los vegetales verdes, cuya papel principal corresponde a un pigmento verde llamado clorofila.

El hidrógeno y el oxígeno lo toman las plantas del agua que absorben por sus raíces, o a veces de la humedad atmosférica. El oxígeno lo toman también las plantas del aire en la respiración, y también de las demás sustancias de que se nutren. Se comprende, por tanto, que el agricultor no se tenga que preocupar de los tres elementos señalados.

El nitrógeno no pueden tomarlo las plantas del que se encuentra libre en el aire, sino que, por el contrario, lo toman del suelo en que viven, y *lo mismo sucede con los otros diez elementos* a que nos hemos referido antes. Todos estos elementos existen, o deben existir en el terreno de labor bajo la forma de compuestos diversos, los cuales, disueltos en el agua, son absorbidos por las plantas y transformados en materia vegetal. Estos once elementos, con excepción del potasio, el fósforo, el calcio y el nitrógeno, se encuentran abundantes en todos los suelos y, por tanto, tampoco preocupan al agricultor.

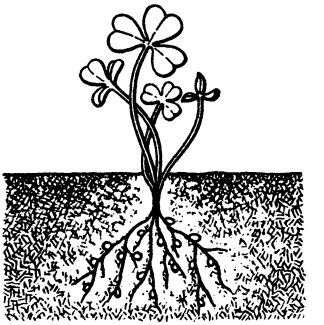
De lo dicho se deduce que *los únicos elementos que suelen escasear en las tierras y que son extraídos por las cosechas siendo necesario restituirlos al suelo en forma de abonos son el nitrógeno, el fósforo, el potasio y el calcio.*

Ahora bien, si los abonos conteniendo los cuatro elementos citados son necesarios para que la planta alcance su perfecto desarrollo, no todos son igualmente necesarios en cuanto a su cantidad para cada clase de plantas, pues cada una demuestra su preferencia por alguno de los elementos fertilizantes. Así, el nitrógeno es el elemento predilecto de los cereales, el fósforo del maíz, el potasio de las leguminosas, etc.

Para obtener el máximo rendimiento de la tierra con el mínimo gasto, es preciso, por tanto, conocer el elemento fertilizante predilecto o «dominante» de la planta que se cultiva así como la composición físico-química del suelo y la cantidad de elementos quitados al mismo por las principales cosechas. Con estos elementos el agricultor puede calcular la clase y cantidad de abono que debe agregar en cada caso.

Incorporación del nitrógeno a las tierras por los microorganismos fijadores del nitrógeno atmosférico. — Desde hace mucho tiempo se conoce el hecho de que ciertas plantas, especialmente las leguminosas, se desarrollan y fructifican perfectamente aunque no se abonen con abonos nitrogenados como si fuesen una excepción de la regla general antes indicada. Este hecho estudiado detenidamente ha demostrado que *existen ciertas bacterias (Bacterium radicicola) que viven en simbiosis con las leguminosas formando nudosidades en sus raíces y que en presencia de materias hidrocar-*

Las raíces de las leguminosas presentan unas nudosidades formadas por ciertas bacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico.



bonadas forman compuestos nitrogenados fijando el nitrógeno del aire, los cuales sirven de alimento a las plantas.

Este descubrimiento permite no sólo el cultivo de esta clase de vegetales sin necesidad de emplear abonos nitrogenados, sino que hace posible la inoculación en el suelo de dichas bacterias que vendrán a hacer de este modo el oficio de abono nitrogenado. Esto se consigue en la práctica sembrando alguna leguminosa en la tierra de labor y enterrándola antes de terminar su desarrollo, con tal que se hayan desarrollado suficientemente las raíces y las nudosidades que en ellas se forman.

Por otra parte, se ha comprobado también que *en el suelo arable viven otros microorganismos fijadores del nitrógeno atmosférico (Clostridium, azotobacter, etc.) que por su acción incorporan al suelo el nitrógeno del aire* y resarcen a los terrenos de las pérdidas de este elemento que sufren por lo scultivos. Este es el fundamento de la práctica conocida con el nombre de *barbecho*, que consiste en cultivar la tierra un año sí y otro no (dejar la tierra sin cultivar es dejarla en barbecho), arándola de vez en cuando con objeto de remover la tierra y enterrar la capa superficial.

Abonos orgánicos. — Los abonos orgánicos fueron los primeramente empleados, sirviendo como tales los *excrementos humanos y de animales así como toda clase de «detritos» vegetales,* e incluso se emplearon ya en la Antigüedad hojas verdes de los árboles y hasta ciertas plantas verdes como los altramuces.

El efecto de los abonos orgánicos se debe no sólo a la mejora física de los terrenos de labor, sino a que contienen los elementos fertilizantes indispensables: nitrógeno, fósforo y potasio; las plantas verdes y los residuos vegetales, porque las plantas los habían tomado previamente del suelo mismo y los excrementos y toda suerte de residuos animales, porque los animales los tomaron de las plantas con que se alimentaron y aquellos elementos, después de haber desempeñado su papel en el organismo, son eliminados en los excrementos.

Los abonos orgánicos más empleados hoy día son los siguientes:

El *estiércol* se compone de la cama de los establos mezclada con las

deyecciones líquidas y sólidas de los animales. Contiene todos los principales elementos fertilizantes, especialmente nitrógeno, fósforo, potasio y calcio. Sus principios nutritivos se disuelven en parte con bastante dificultad y no pueden ser aprovechados por las plantas desde el primer momento, siendo su acción en cambio muy larga.

Los *excrementos de aves domésticas,* especialmente la *palomina*, recogida en los palomares, constituye un buen abono nitrogenado.

El *guano* está constituido por deyeciones de aves marinas (pájaros de guano) y forman enormes depósitos en las costas occidentales de América del Sur y en pequeños islotes del mar de Chile y Perú, así como en la costa SO. de África y otros lugares. Sus caracteres y composición depende de su procedencia, pues mientras en unos lugares llueve poco y son ricos en nitrógeno, en otros lugares las aguas de lluvia disuelven este elemento del guano, siendo entonces proporcionalmente rico en fósforo.

El *humus o mantillo* es un producto negruzco procedente de la descomposición lenta de restos de plantas parásitas, hojas, cortezas, ramas, etc. que anualmente se desprenden de los árboles, y que forman en el suelo de los bosques y lugares de mucha vegetación una capa de más o menos espesor. Estos desperdicios experimentan una serie de transformaciones, unas puramente químicas y otras determinadas por microorganismos que viven en los suelos, que convierten en parte sus componente en productos solubles y asimilables por las plantas.

El humus constituye la capa vegetal que por su fecundidad explica la producción maderera de los bosques y la abundancia de las cosechas en los terrenos recientemente descuajados, y se emplea preferentemente en horticultura y jardinería.

Abonos minerales. — Los abonos minerales o abonos químicos se emplearon a partir del momento en que se conocieron los elementos constitutivos de los vegetales, que naturalmente se encuentran en los suelos, y los principios que conviene añadir a la tierra, como abonos, para mantener su constante fertilidad. No había de ser indispensable que el abonado se hiciese con abonos orgánicos, sino que era posible utilizar compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio, asimilables por las plantas, tales como el *cloruro potásico*, los *fosfatos naturales* y el *nitrato sódico* (nitrato de Chile), con los cuales se proporciona a los suelos los elementos fertilizantes indispensables y en mayor cantidad que con los abonos naturales. Hoy día está sumamente extendido el empleo de los abonos minerales que permiten la utilización intensiva del suelo, constituyendo un auxiliar indispensable en la agricultura racional.

Abonos artificiales. — Dada la gran demanda de abonos minerales de toda clase, como consecuencia del empleo universal de estas sustancias, pronto se vio la necesidad de obtener artificialmente fertilizantes, sobre todo porque los depósitos de guanos y de nitratos podrían agotarse en un plazo más o menos lejano.

El problema ha sido resuelto por la industria química, que actualmente produce enormes cantidades de fertilizantes de todas clases.

Los productos químicos que se emplean para suministrar el nitrógeno a los suelos son principalmente los nitratos de sodio, potasio y calcio, el sulfato amónico y la cianamida cálcica.

Los *nitratos* mencionados se obtienen partiendo del ácido nítrico obtenido por los procedimientos industriales citados al estudiar este ácido, especialmente por oxidación catalítica del amoníaco.

En cuanto al *sulfato amónico* se obtiene a partir del ácido sulfúrico y las aguas amoniacales que resultan del lavado del gas del alumbrado.

En menor escala se usan también el *nitrato amónico, cloruro amónico, fosfato amónico* y *amónico-magnésico,* etc.

Para suministrar el fósforo a los suelos se emplean especialmente los *superfosfatos* y en menor cantidad las *escorias Thomas,* las *cenizas de huesos,* etc.

Los *superfosfatos* son fertilizantes que se obtienen tratando las fosforitas naturales (fosfato tricálcico) por el ácido sulfúrico:

$$(PO_4)_2Ca_3 + 2\,SO_4H_2 = (PO_4H_2)_2Ca + 2\,SO_4Ca$$

con lo que se obtiene una mezcla de fosfato monocálcico y sulfato cálcico o yeso, que es lo que se conoce como superfosfatos.

Los superfosfatos tienen la ventaja sobre las fosforitas naturales de que el fosfato monocálcico es soluble y por tanto fácilmente asimilable, mientras que el fosfato tricálcico es insoluble.

El potasio se añade a los suelos como *nitrato potásico, cloruro potásico* y *sulfato potásico.*

Ejercicios

¿Qué es el fósforo y cómo se presenta en la Naturaleza? ¿Por qué no se encuentra libre?

¿Cuáles son las variedades alotrópicas del fósforo? Citar las propiedades más sobresalientes del fósforo en sus diferentes estados alotrópicos, señalando las diferencias más notables.

¿Cuáles son los principales óxidos y ácidos del fósforo? ¿Cuál es la sal más importante del fósforo?

¿Qué son los abonos? ¿Qué elementos hay que proporcionar a la tierra de cultivo mediante los abonos?

¿Qué son abonos orgánicos? ¿Cuáles son los más empleados?

¿Qué son abonos minerales? ¿Qué son abonos artificiales? ¿Cuáles son los más empleados?

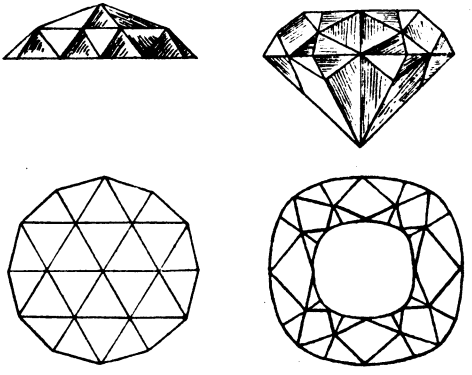
44. CARBONO. ANHÍDRIDO Y ÁCIDO CARBÓNICO. CARBONATO SÓDICO

Carbono. Estado en la naturaleza. — El carbono tiene por símbolo C. Se encuentra en la naturaleza libre (diamante y grafito) y formando combinaciones, tanto en el reino mineral (carbonatos), como en el reino vegetal y animal donde forma parte de numerosísimas combinaciones (más de 500.000), siendo el elemento esencial de toda materia viva. Por ello a estas combinaciones se les da el nombre de *combinaciones orgánicas.*

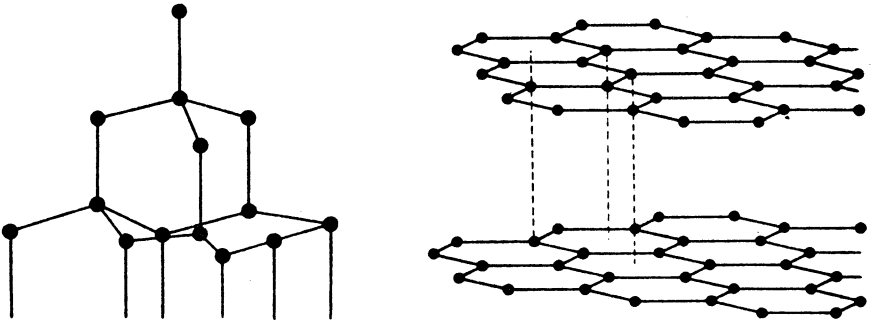
Variedades alotrópicas del carbono. — El carbono libre se presenta bajo tres formas o modificaciones alotrópicas: dos de ellas cristalizadas y una amorfa. Las primeras son el diamante y el grafito y la variedad amorfa está representada por el carbón de madera, el negro de humo y otras formas semejantes.

El diamante. — Es carbono puro cristalizado en el sistema regular. Se presenta en cristales octaédricos de aristas curvas, siendo sus principales yacimientos los del Brasil, India y África del Sur.

El estudio del diamante mediante los rayos X, ha demostrado que en el diamante, la red cristalina es cúbica, donde cada átomo se encuentra rodeado de otros cuatro átomos, situados a distancias iguales, formando un tetaedro regular en el cual aquél ocupa el centro.



El diamante es carbono puro cristalizado. Convenientemente tallado es muy apreciado en joyería.



Redes cristalinas del diamante (izquierda) y del grafito (derecha).

Debido a la pequeña distancia que media entre los átomos de diamante, tiene un densidad elevada (3,5) y debido a la fuerte unión entre todos ellos, es sumamente duro (número 10 en la escala de Mohs).

A pesar de su dureza es muy frágil, rompiéndose por golpe. Tiene un elevado índice de refracción, lo que hace que, convenientemente tallado, presente reflejos característicos muy vistosos, que le dan gran valor en joyería.

Es incoloro y transparente, aunque a veces, debido a pequeñas impurezas, presenta ligera coloración amarilla, violeta, azul o roja, que le hace más valioso en joyería, y en otras ocasiones presenta color negro (diamante carbonado) en cuyo caso sólo se emplea para cortar vidrio por su dureza, tallar otros diamantes o para perforar rocas muy duras.

El diamante resiste muy bien los agentes químicos, siendo prácticamente inerte. Sólo arde con dificultad en el aire o en el oxígeno, convirtiéndose en CO_2 sin dejar residuo.

El grafito. — Es carbono, más o menos puro, cristalizado en el sistema *hexagonal.* Se presenta en masas grises o negras, que tiznan fuertemente, untuosas al tacto, siendo sus principales yacimientos los de Ceylán y Madagascar, Estados Unidos y Siberia.

Es estudio del grafito mediante rayos X ha demostrado que la red cristalina del grafito consta de muchas capas planas de carbono superpuestas, en las que los átomos de carbono se encuentran en los vértices de un hexágono regular. Cada átomo de un plano se encuentra en la vertical del centro de un hexágono del plano superior o inferior, siendo menor la distancia entre los átomos contiguos de una misma capa que entre dos capas sucesivas.

El grafito es esfoliable en la dirección de los planos, y la movilidad de los electrones que constituyen los enlaces entre las diferentes capas, es

causa de que el grafito sea buen conductor del calor y de la electricidad. Tiene brillo metálico y es blando.

Químicamente es más capaz de reacción que el diamante, ardiendo con más facilidad que el diamante, dejando algún residuo.

Por su conductibilidad se emplea para escobillas en motores y dínamos, y para electrodos en cubas electrolíticas y hornos de arco; por su untuosidad para lubricantes (aceites grafitados), para fabricar minas de lápices y por su resistencia a los agentes químicos y a las temperaturas elevadas, para fabricar crisoles para fundir metales.

El carbono amorfo. — Se divide en variedades naturales y artificiales. Las variedades naturales de carbono amorfo son: la antracita, la hulla, el lignito y la turba. Las variedades artificiales son: el coque, el carbón de madera, el negro de humo, etc. Todas estas variedades de carbono presentan en realidad, como se ha demostrado con rayos X, la misma estructura del grafito, sino que los cristales son en estos casos sumamente pequeños, dependiendo su tamaño de la temperatura a que se forman.

Los carbones naturales. — Este grupo comprende, como se ha dicho, la antracita, la hulla, el lignito y la turba.

Todos ellos proceden de vegetales que quedaron sepultados en tiempos más o menos remotos por diferentes causas. Éstos, en ausencia de aire, sufrieron una descomposición lenta, por la cual fueron desprendiéndose los elementos volátiles y quedó el carbono. Son, por consiguiente, más ricos en carbono cuanto más antiguo es su origen.

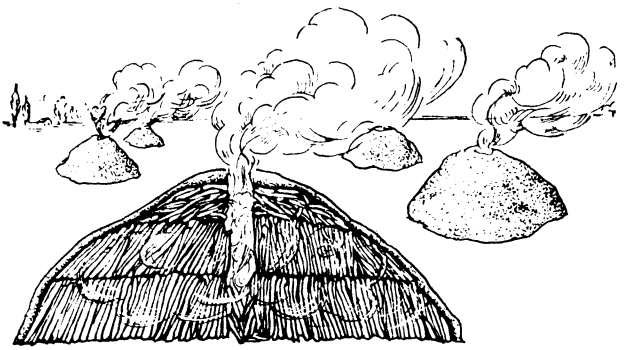
La antracita es el carbón más antiguo y más rico en carbono. Contiene hasta el 98 % de carbono. Forma masas compactas y duras, de color negro brillante. Arde con poca llama, por carecer de productos volátiles, pero con gran desprendimiento de calor.

La hulla es de formación más moderna y menos rica en carbono que la antracita (85 %). Es también negra y brillante, y tiene estructura hojosa. Industrialmente se distinguen dos tipos de hulla: la seca o magra y la grasa. La primera arde con más dificultad y la segunda lo hace con llama abundante, siendo la que se usa para la fabricación del gas de alumbrado.

El lignito es negro o pardusco, menos rico en carbono que los anteriores (65 %). Arde desprendiendo también menos calor y produciendo abundante humo de olor desagradable, dejando abundantes cenizas.

La turba es el carbón de formación más reciente. Se forma en la actualidad a partir de los vegetales que crecen a las orillas de los lagos o pantanos, cuyos restos van quedando cubiertos por el agua y el barro. Es esponjosa y de color pardo. Es el carbón menos rico en carbono (55 %) y arde con poco calor, desprendiendo humos abundantes de mal olor y dejando cenizas muy abundantes, por lo que tiene muy poca aplicación en la industria.

Los carbones artificiales. — Los más importantes son el carbón de cok o coque, el carbón de madera, el carbón de huesos y el negro de humo.



El carbón vegetal se obtiene aún por el método de las carboneras, donde la madera se carboniza fuera del contacto del aire.

El carbón de cok o coque, es el residuo de la destilación seca de la hulla. La destilación seca de la hulla se realiza encerrándola en retortas calentadas exteriormente. A elevada temperatura sufre una descomposición, como consecuencia de la cual se desprenden una mezcla de gases que, después de lavados y purificados, constituyen el *gas del alumbrado.* En las retortas queda, como residuo, un carbón esponjoso de color gris que es el coque. Éste se emplea como combustible y en metalurgía para la obtención de ciertos metales por reducción de sus óxidos.

El carbón de madera se obtiene por destilación seca de la madera. Modernamente se practica de forma análoga a la de la hulla, obteniéndose también un gas combustible, llamado *gas de madera,* y quedando un residuo constituido por el carbón de madera.

Antiguamente y aún hoy, cuando se obtiene en pequeña escala o no interesa más que la obtención del carbón de madera, se obtiene por *él método de las carboneras.* Para ello se corta la madera en trozos y se apila en montones troncocónicos, que se recubren de césped y tierra, dejando solamente un hueco central, que hace de chimenea, y varios orificios laterales que permiten el acceso del aire hasta la chimenea central. Se enciende la pila de madera o carbonera y, al cabo de dos o tres días, cuando se saca una muestra y se ve que la carbonización es bastante completa, se tapan los agujeros de entrada de aire, con lo que la combustión cesa y la carbonera se enfría lentamente.

Este carbón es un producto ligero y negro que arde fácilmente, se emplea como combustible y como decolorante y desodorizante, pues finamente dividido tiene la propiedad de retener sobre su superficie (adsorción) grandes cantidades de gases, sustancias colorantes y otras. Para este uso, se filtra el líquido que se quiere decolorar o desodorizar a través de una capa de carbón finamente pulverizado.

El negro animal, es un carbón que resulta de la carbonización a temperatura elevada y fuera del contacto del aire, de sustancias animales, como huesos, sangre y residuos de matadero, en vasijas apropiadas. Lavado y pulverizado después, presenta la misma propiedad decolorante y desodorizante que el carbón de madera, pero en mayor grado, empleándose especialmente con este fin.

El negro de humo se obtiene en la combustión incompleta de sustancias muy ricas en carbono, como resinas y otras. Se recoge sobre la superficie de unos cilindros enfriados interiormente que giran lentamente sobre las llamas, mientras unas cuchillas que rozan la superficie de los cilindros, van separando el hollín a medida que se forma. Se emplea en la fabricación de tinta china y de imprimir.

Propiedades químicas del carbono. — Aparte de las propiedades del carbono, ya citadas, que dependen de la variedad de carbono de que se trate, el carbono es una sustancia insípida, que funde a 3500° y que hierve a 3900°.

El carbono se une tanto a elementos metálicos como a elementos no metálicos, pudiendo enlazarse de la misma manera varios átomos de carbono entre sí, dando lugar a numerosísimos compuestos.

A temperatura alta todas las formas de carbono se combinan con el oxígeno ,dando anhídrido carbónico u óxido de carbono (CO_2 ó CO) según el oxígeno esté abundante o escaso:

$$2\,C + O_2 = 2\,CO \qquad 2\,CO + O_2 = 2\,CO_2$$

La avidez del carbono para el oxígeno a elevada temperatura, hace que *el carbono se apodere del oxígeno de muchos óxidos metálicos*, por lo que la industria lo emplea como agente reductor:

$$Fe_3O_4 + C = 3\,FeO + CO \qquad FeO + C = Fe + CO$$

Con el hidrógeno forma acetileno (C_2H_2) cuando se hace saltar el arco eléctrico entre electrodos de carbón en atmósfera de hidrógeno:

$$2\,C + H_2 + \text{calor} = C_2H_2$$

Anhídrido carbónico. — El anhídrido carbónico se encuentra libre en el aire (0,03 %) disuelto en las aguas de ciertos manantiales (aguas carbónicas) y se desprende a veces de grietas y hendiduras de la corteza terrestre.

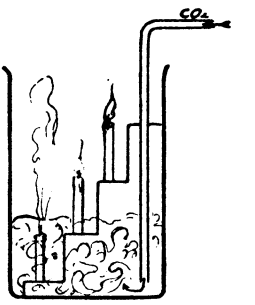
Se obtiene por combustión del carbón con abundante aire:

$$C + O_2 = CO_2 + 9{,}40 \text{ kcal}$$

y en el laboratorio tratando un carbonato por un ácido en aparato de Kipp:

$$CO_3Ca + 2\,HCl = Cl_2Ca + H_2O + CO_2$$

El anhídrido carbónico no es comburente. Las velas colocadas en este vaso se apagan a medida que sube el nivel del anhídrido carbónico.



Es un gas incoloro, no combustible, y que no sirve para la respiración, ni para la combustión, por lo que en su seno los animales se asfixian y una vela encendida se apaga. Es más denso que el aire y se licua fácilmente comprimiéndolo a temperatura menor de 31,3° (temp. crítica). Líquido se maneja en el comercio en botellas de acero. *Se disuelve en el agua, a la que comunica carácter ácido.*

Es un compuesto muy estable. Solamente a elevada temperatura, algunos reductores fuertes, como el hidrógeno, carbono, o metales alcalinos, lo reducen a óxido de carbono o a carbono libre:

$$CO_2 + H_2 = CO + H_2O \qquad CO_2 + C = 2\,CO$$

El carácter ácido de su disolución en agua, prueba que ha reaccionado con ésta, formando ácido carbónico (CO_3H_2), que no se conoce libre, aunque se conocen sus sales, llamadas carbonatos:

$$CO_2 + H_2O = CO_3H_2$$

Ácido carbónico y carbonatos. — El ácido carbónico no puede aislarse pues cuando se intenta se descompone en anhídrido carbónico y agua.

Como ácido bibásico, da lugar a dos series de sales: *los carbonatos ácidos o bicarbonatos y los carbonatos neutros.* Los primeros resultan de sustituir uno solo de los hidrógenos del ácido y los segundos de la sustitución de ambos hidrógenos. Asi, el bicarbonato sódico CO_3HNa y el carbonato sódico CO_3Na_2.

Todos los bicarbonatos son solubles en agua y de los carbonatos neutros sólo son solubles los de los metales alcalinos (Sodio, Potasio, Rubidio y Cesio).

Los bicarbonatos se convierten en carbonatos por el calor, desprendiendo anhídrido carbónico, e inversamente los carbonatos pueden convertirse en bicarbonatos haciendo pasar una corriente de CO_2 a través de la disolución de carbonato, según la reacción reversible:

$$2\,CO_3HNa = CO_3Na_2 + CO_2 + H_2O$$

Todos los carbonatos por acción de los ácidos, desprenden CO_2, debido a que el ácido carbónico que primeramente se pone en libertad se descompone en anhídriro carbónico y agua, siendo ésta una reacción que sirve para reconocerlos:

$$CO_3Na_2 + 2\,HCl = 2\,NaCl + CO_2 + H_2O$$

Carbonato sódico. — De todos los carbonatos, el carbonato sódico es, con mucho, el más importante.

El carbonato sódico (CO_3Na_2) es un producto natural, pero las cantidadas que ofrece la Naturaleza son del todo insuficientes para la demanda de la industria, por lo que obtiene desde muy antiguo por el llamado método de Leblanc, hoy sustituido por el método de Solvay.

El método de Solvay consiste esencialmente en hacer pasar una corriente de gas amoníaco a través de una disolución saturada de sal común, hasta que precipita una parte de ésta, por ser menos soluble en agua amoniacal que en agua pura. La solución turbia se deja sedimentar y luego se hace pasar una corriente de anhídrido carbónico, enfriando para que la temperatura no se eleve por encima de los 40°. Se forma de este modo bicarbonato amónico, pero en presencia de cloruro sódico se forma el bicarbonato sódico por ser menos soluble. Las reacciones pueden escribirse así:

$$NH_3 + H_2O + CO_2 = CO_3HNH_4$$
$$CO_3HNH_4 + ClNa = ClNH_4 + CO_3HNa$$

El bicarbonato sódico, poco soluble, se deposita sólido y luego, por calcinación, se convierte en carbonato:

$$2\,CO_3HNa = CO_3Na_2 + CO_2 + H_2O$$

mientras el anhídrido carbónico que se obtiene se lleva nuevamente a reaccionar.

En las aguas madres donde se formó el bicarbonato sódico queda amoníaco disuelto y en forma de cloruro amónico, el cual se recupera hirviéndolas con lechada de cal:

$$2\,ClNH_4 + Ca(OH)_2 = Cl_2Ca + 2\,NH_3 + 2\,H_2O$$

y el amoníaco obtenido se lleva de nuevo a reaccionar.

El carbonato sódico se conoce en el comercio con el nombre de sosa solvay. Es una sal incolora muy soluble en agua, de cuyas disoluciones cristaliza con 1 0moléculas de agua ($CO_3Ca \cdot 10\,H_2O$).

Se emplea para numerosos fines, como para fabricación de jabones, vidrio, lejías, etc.

Ejercicios

¿Cómo se presenta el carbono en la Naturaleza? ¿Cuáles son sus variedades alotrópicas?

Citar las propiedaes más importantes del diamante y del grafito. ¿En qué se diferencian esencialmente el diamante y el grafito?

¿Cuáles son los carbonos naturales? ¿Cuáles son sus principales características?

¿Cuáles son los principales carbones artificiales? Decir sus principales características y aplicaciones.

¿Cuál es la principal propiedad del carbono desde el punto de vista químico? ¿Qué gas se produce en la combustión del carbón? Escríbase la reacción.

¿Por qué tiene carácter ácido la disolución del anhídrido carbónico en agua? ¿Se puede obtener el ácido carbónico libre?

¿Qué son los carbonatos? ¿En qué consiste esencialmente la obtención del carbonato sódico por el método de Solvay? ¿Cuáles son sus principales aplicaciones?

45. LA CALIZA Y LA SÍLICE EN LA NATURALEZA Y EN LA TÉCNICA

La caliza. — La caliza es técnicamente el carbonato cálcico, cuya fórmula es CO_3Ca. Es sin duda el mineral de calcio más abundante y por sí sola o con dolomia (que es un carbonato doble de calcio y magnesio [$CO_3Ca \cdot CO_3Mg$]), forma grandes cadenas montañosas y cubre grandes extensiones de terreno sobre la superficie terrestre. También se presenta el carbonato de calcio bajo formas cristalizadas diferentes, como el *mármol,* el *espato cálcico* y el *aragonito.* Todas las variedades de carbonato cálcico tienen, desde el punto de vista químico, propiedades análogas, pues se trata del mismo compuesto químico, pero técnicamente es la caliza la que tiene una importancia incomparablemente mayor, debido a su abundancia y a sus aplicaciones, especialmente como material de construcción y como material de partida para la obtención de la cal viva, igualmente importante como material de construcción.

El carbonato cálcico es insoluble en agua, pero se disuelve en agua que lleva en disolución anhídrido carbónico, debido a la formación de bicarbonato cálcico, que es soluble:

$$CO_3Ca + CO_2 + H_2O = (CO_3H)_2Ca$$

Este hecho tiene mucha importancia práctica, puesto que existiendo caliza en casi todos los puntos de la corteza terrestre, las aguas minerales, que suelen contener anhídrido carbónico disuelto, disuelven el carbonato cálcico. Esto determina frecuentemente la dureza de las aguas naturales

y es el origen de la formación de *estalactitas* y *estalagmitas* que adornan muchas grutas, especialmente las bellísimas de Artá y Manacor en la isla de Mallorca. Efectivamente, al brotar a la superficie las aguas subterráneas cargadas de bicarbonato cálcico, pierden lentamente el anhídrido carbónico y el carbonato cálcico se deposita nuevamente insoluble, formando poco a poco depósitos calizos o estalactitas y estalagmitas.

La caliza se descompone a elevadas temperaturas desprendiendo anhídrido carbónico, y dejando un residuo de óxido cálcico, llamado en el comercio *cal viva*:

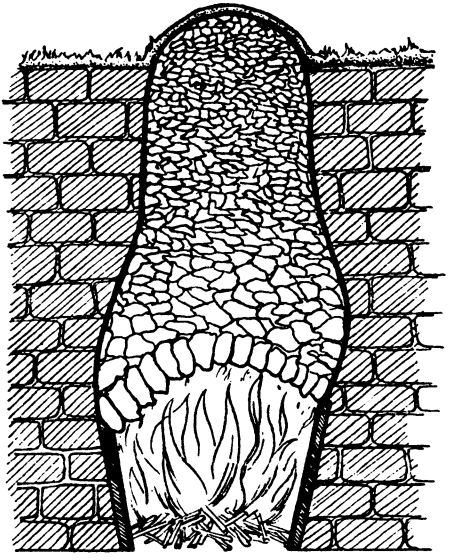
$$CO_3Ca = CaO + CO_2$$

La caliza, como todos los carbonatos, da efervescencia con los ácidos, desprendiendo anhídrido carbónico y formándose la sal cálcica del ácido correspondiente:

$$CO_3Ca + 2\,ClH = Cl_2Ca + H_2O + CO_2$$

La caliza, como tal, se emplea como material de construcción, bien reducida a trozos pequeños (grava) en el afirmado de carreteras y mezclada con cemento (hormigón), bien en trozos grandes para fabricación de muros o en bloques tallados o sillares, etc.

La cal viva. — La cal viva es, como ya hemos dicho, el óxido de calcio de fórmula CaO, que *se obtiene por descomposición de la caliza por el calor.*



La cal viva se obtiene en los hornos de cal. En ellos la caliza se descompone lentamente a temperatura elevada dejando como residuo la cal viva.

La cal viva se obtiene industrialmente en los *hornos de cal.* Éstos, son hornos de gran capacidad, cavados muchas veces en el suelo, que se llenan de piedra caliza reducida a trozos de regular tamaño, y donde ésta se calienta a unos 800° mediante un fuego que se prende en su parte inferior. Al cabo de 48 horas o más, la transformación de la caliza en cal viva ha terminado y entonces se deja enfriar el horno y se extrae la cal viva.

La cal viva es un cuerpo blanco, ligero, que presenta gran afinidad para el agua. Cuando se vierte agua sobre la cal viva, se observa cómo se hincha y resquebraja, desprendiéndose gran cantidad de calor y se transforma en otro cuerpo diferente, pulverulento, que se conoce con el nombre de *cal apagada* y es el hidróxido cálcico:

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$$

Esta reacción es igual a la de todos los óxidos metálicos u óxidos básicos con el agua, en la que se forman los hidróxidos correspondientes.

Grandes cantidades de cal viva se emplean para obtener la cal apagada y con ella la *argamasa* o *mortero,* que es una masa empleada para adherir entre sí los materiales de construcción y en el revoque de paredes o construcciones.

La argamasa se prepara mezclando la cal apagada con arena en cantidad mayor o menor, según la calidad de la cal viva empleada. (La cal muy pura, llamada «grasa», requiere mayor cantidad de arena que la cal menos pura y arcillosa, llamada «magra».) La argamasa se emplea para unir las piedras o ladrillos debido a su propiedad de fraguar, es decir de endurecer al cabo de poco tiempo.

El fraguado o endurecimiento de la argamasa se debe a un proceso lento de transformación de la cal apagada, que primeramente se deseca y luego se transforma en carbonato de cal por la acción del anhídrido carbónico del aire:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CO_3Ca + H_2O$$

La arena que se añade a la cal apagada, tiene por objeto, por una parte, aumentar la masa y, sobre todo, para facilitar el acceso del aire al interior de la misma, pero no interviene en la reacción que produce el fraguado.

Cales hidráulicas y cementos. —*Reciben el nombre de cales hidráulicas aquellas que tienen la propiedad de fraguar fuera del contacto del aire y que, por lo tanto, pueden utilizarse para trabajos bajo el agua.*

Las cales hidráulicas se obtienen calcinando calizas que contengan por lo menos un 8 % de arcilla, por lo cual contienen, junto con el óxido de calcio, silicato y aluminato de calcio. Debido a la presencia del óxido de calcio, los trozos duros procedentes de los hornos, se pueden reducir a polvo sin más que añadir una cantidad moderada de agua. Este polvo o cal hidráulica, amasada con arena y agua, fragua sin la presencia del an-

hídrido carbónico, debido a una reacción no muy bien conocida entre el óxido de calcio y el silicato y aluminato cálcicos, que tiene lugar con la absorción de agua.

Cuando la proporción de arcilla sobrepasa el 20 % se obtienen los cementos, los cuales se caracterizan porque endurecen al amasarlos con agua en pocos minutos. Los cementos no contienen cal libre, sino solamente combinada bajo la forma de silicatos y aluminatos de calcio; por esta razón la masa salida del horno no puede pulverizarse apagándola con agua, sino que es preciso pulverizarla en molinos especiales.

Los cementos se obtienen unas veces por simple calcinación de las calizas que contienen ya la cantidad adecuada de arcilla y reciben el nombre de *cementos naturales.* Otras veces se obtienen mezclando cal y arcilla en proporciones convenientes y calentando la mezcla a 1300°, a cuya temperatura la masa reblandece; esta masa una vez fría (clinca) se tritura y pulveriza, constituyendo el *cemento artificial* o *cemento Portland.*

El cemento Portland amasado con agua y arena constituye el *mortero,* amasado con guijarros y agua el *hormigón,* y cuando el hormigón lleva en su interior una armazón de varillas de hierro, constituye el *hormigón armado,* que desempeña un importante papel en las modernas construcciones.

La sílice. — *La sílice es químicamente el dióxido de silicio,* de fórmula SiO_2 y se presenta en la Naturaleza cristalizado amorfo. *La variedad cristalizada es el cuarzo,* bien incoloro (cristal de roca) o con colores diversos y también negro (cuarzo ahumado). Los colores con que aparece el cuarzo son debidos a la presencia de impurezas. Otras variedades no forman macrocristales, sino que tienen estructura microcristalina, tales como el ónix, jaspe y ágata.

Una variedad amorfa, procede de la descomposición de los silicatos (ópalo), y *la tierra de infusorios, el trípoli, el Kieselgur y otras son variedades de sílice amorfa.*

El anhídrido silícico cristalizado es muy duro (número 7 de la escala de Mohs), y raya el vidrio aunque no lo corta. Funde a 1600° y fundido puede moldearse, soplarse o estirarse como el vidrio, por lo que con él se fabrican matraces, cápsulas y material diverso de laboratorio, que presenta la ventaja de ser completamente inatacable por los ácidos y ser muy resistente a los cambios bruscos de temperatura; un matraz o tubo de cuarzo puede calentarse al rojo e introducirse en agua fría sin que se rompa.

Es transparente a la radiaciones ultravioleta, mientras el vidrio las absorbe, por lo que se emplea para fabricación de lámparas de rayos de esta clase.

Únicamente es atacable por el ácido fluorhídrico (FH), formando tetrafluoruro de silicio (F_4Si) gaseoso:

$$SiO_2 + 4\,FH = F_4Si + 2\,H_2O$$

También le atacan los hidróxidos y los carbonatos formándose silicatos, siendo ésta la base de la fabricación del vidrio, del que nos ocuparemos después.

Ácidos silícicos. — El dióxido de silicio o sílice, tiene, como la mayoría de los óxidos de los metaloides, carácter ácido, de manera que *se conocen varios ácidos silicílicos, que proceden teóricamente del dióxido de silicio por unión de una molécula de éste con una o varias moléculas de agua.* Así se conoce el ácido metasilcico de fórmula SiO_3H_2, el ácido ortosilícico SiO_4H_4, el ácido disilícico $Si_2O_7H_6$ ($2\,SiO_2 \cdot 3\,H_2O$) y otros ácidos, llamados polisilícicos, que no han podido aislarse, pero cuyas sales se conocen y que se les supone formados por deshidratación parcial del ácido metasilícico.

Las sales de los ácido silícicos reciben el nombre de silicatos.

Los silicatos se encuentran profusamente repartidos en la Naturaleza. Unos pueden considerarse derivados del ácido ortosilícico como el olivino (SiO_4Mg_2), otros del ácido metasilícico como la wollastonita (SiO_3Ca), otros del ácido disilícico, del trisilícico, etc.

Los silicatos de sodio y potasio son solubles y se obtienen hirviendo arena de cuarzo con hidróxido sódico o potásico, o fundiendo la arena con carbonato sódico.

El silicato sódico es sólido y se encuentra en el comercio como solución concentrada con el nombre de vidrio soluble.

Los demás silicatos son insolubles.

El vidrio. — El vidrio es una mezcla de silicatos que se obtienen fundiendo las materias primas, con lo que se obtiene un líquido que, por enfriamiento, aumenta su viscosidad de forma tal que adquiere apariencia de sólido sin llegar a cristalizar. (No tiene un punto de fusión determinado.)

La composición aproximada de un vidrio típico corriente de cal y sosa es $Na_2O \cdot CaO \cdot 6\,SiO_2$, es decir un silicato de sodio y calcio. Se obtiene fundiendo conjuntamente una mezcla en proporciones adecuadas de carbonato de sodio, carbonato de calcio (caliza) y arena de cuarzo, añadiendo como fundente una cantidad de vidrio de igual calidad de una fundición anterior. Primeramente se forma gran cantidad de espuma debido al desprendimiento de anhídrido carbónico:

$$CO_3Na_2 + SiO_2 = SiO_3Na_2 + CO_2$$
$$CO_3Ca + SiO_2 = SiO_3Ca + CO_2$$

y finalmente queda una masa clara y sin burbujas que, en estado semilíquido, se puede estirar y moldear como se quiere.

Las botellas, vasos y objetos semejantes se obtienen tomando una cantidad suficiente de masa fundida con el extremo de un tubo de hierro llamado *caña*, introduciéndola en un molde y soplando hasta llenar toda la superficie del molde. El vidrio plano se obtiene modernamente con hornos

de fusión continuos, en los que por una parte se va añadiendo la mezcla y por otro va vertiendo continuamente la masa fundida en forma de lámina. Esta lámina se recoge sobre una mesa de rodillos y a medida que se enfría se va cortando en grandes láminas que luego se pulen por ambos lados.

Existen diversas clases de vidrios cuya composición es distinta a la indicada antes. Así el *vidrio Pirex,* que se emplea para objetos de laboratorio por su resistencia a los agentes químicos y por su pequeño coeficiente de dilatación que lo hace resistente a los cambios bruscos de temperatura, tiene un 80 % de SiO_2, 4 % de Na_2O, 0,4 % de CaO, 0,6 % de K_2O, 0,12 % de B_2O_3 y 3 % de Al_2O_3.

El vidrio de color se obtiene añadiendo a la masa óxidos metálicos que dan lugar a silicatos coloreados. El hierro y cromo producen vidrios verdes; el cobalto y el cobre, azules; y el manganeso, violeta. El vidrio rojo contiene oro o selenio finamente divididos (en estado coloidal).

Arcilla y productos cerámicos. — Muchos silicatos complejos naturales, especialmente los feldespatos (silicatos dobles de aluminio y un metal alcalino), se disgregan lentamente por la acción del anhídrido carbónico y del agua, produciéndose las arcillas.

Así, el feldespato ortosa (Si_3O_8AlK), en el transcurso de los siglos, produce un residuo de silicato de alúmina hidratado insoluble ($Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$) blanco, que recibe el nombre de *caolín,* al mismo tiempo que se forma también carbonato potásico. Éste sirve como alimento de las plantas, mientras que el caolín es generalmente arrastrado por las aguas e impurificado en el arrastre por óxidos de hierro, caliza, arenas, etc., depositándose en niveles bajos, formando los depósitos de arcillas, en las que se suelen encontrar restos de los feldespatos que les dieron origen.

Las arcillas se llaman *margas* cuando contienen carbonatos de calcio y magnesio, y *gredas* si contienen mucha sílice.

Las arcillas son materias blandas, adherentes a la lengua, de color gris a rojo según sus impurezas, y que amasadas con agua forman una masa plástica, es decir, moldeable, de donde proviene su gran importancia en la industria cerámica, que comprende la fabricación de la porcelana, gres, loza y ladrillos.

Efectivamente, los objetos moldeados de arcilla, desecados y cocidos, es decir calentados cierto tiempo a la temperatura del rojo, pierden la plasticidad y endurecen sin perder la forma, adquiriendo gran poder refractario y resistencia a los ácidos. En la cocción se produce una mayor o menor contracción, que en algunos casos puede producir grietas, lo cual se evita añadiendo diluyentes adecuados.

Según la pureza y calidad de las arcillas y de los productos que eventualmente se le adicionan, resultan los distintos productos cerámicos.

La porcelana se prepara amasando caolín purísimo con feldespato y algo de cuarzo y agua. La masa moldeada se lleva a hornos donde se calienta a 900° y luego se barniza con feldespato y calienta de nuevo a 1400°.

Entonces el feldespato funde, penetra en los poros y se origina la masa translúcida y compacta que caracteriza la porcelana.

El gres es también compacto, pero no translúcido y de color amarillo gris o rojo; se cuece a 1200° y para barnizarlo se proyecta en el horno durante la cocción cloruro sódico, que al reaccionar con el vapor de agua forma ácido clorhídrico y forma sobre la superficie de los objetos una capa de silicato doble de aluminio y sodio inatacable. El gres se emplea para la fabricación de material para la industria química, tubos para la conducción de agua, etc.

La loza o mayólica se fabrica como la porcelana, con arcillas más o menos puras y con adición de mayor cantidad de cuarzo, haciéndose la cocción a temperatura más baja. Tiene estructura terrosa y no es translúcida. El barniz se consigue recubriendo los objetos con una mezcla de cuarzo, caolín y alcalí y cociéndolos de nuevo a temperatura baja.

Los ladrillos se obtienen a temperatura relativamente baja, con arcillas muy impuras y ricas en óxido de hierro (tierra de alfareros) y no se barnizan.

Ejercicios

¿Qué es la caliza y cuáles son sus principales aplicaciones?

¿Qué es la cal viva y cómo se obtiene en la industria? Escríbase la reacción. ¿Qué ocurre a la cal viva cuando se le añade agua? Escríbase la reacción que se produce.

¿Qué son las cales hidráulicas? ¿En qué se diferencian de los cementos?

¿Qué es la sílice y cómo derivan de ella los ácidos silícicos? ¿Cómo se llaman las sales de los ácidos silícicos?

¿Qué es el vidrio? ¿Cómo se obtiene el vidrio ordinario?

¿Qué es la arcilla? ¿Cuáles son los principales productos cerámicos y cómo se obtienen?

46. METALES. PROPIEDADES GENERALES. ALEACIONES

Metales. Estado en la naturaleza. — Todos los elementos conocidos (unos 100 aproximadamente) pueden clasificarse, según sabemos, en dos grupos: metales y no metales o metaloides. Existen algunos, sin embargo, que participan según las circunstancias de las propiedades de unos y otros, no habiendo una separación precisa entre uno y otro grupo. Por esta razón es preferible hablar de estado metálico y estado no metálico, puesto que algunos elementos se presentan unas veces en un estado y otras en otro.

Los metales forman un grupo homogéneo de características comunes hasta el punto de que se mezclan entre sí sin acción química alguna y muchas veces se encuentran mezclados en la naturaleza. En algunos casos (metales de las tierras raras) la analogía es tal que sólo recientemente se han podido separar después de intensos trabajos de investigación.

Según los metales sean inalterables en contacto del aire y de la humedad, sean bastante estables o sean inestables, reciben los nombres de metales *nobles, seminobles y no nobles.* Así son nobles el oro y el platino, seminobles el cobre y el mercurio, y no nobles el cinc, el sodio y el calcio.

La manera de presentarse en la naturaleza, depende de su estabilidad. Los metales nobles se presentan libres, es decir en estado nativo. Esto sucede con el oro y el platino.

Los metales seminobles, se encuentran a veces libres y más corrientemente combinados con el azufre, arsénico y cloro y algunas veces forman también compuestos oxigenados. Así sucede con el cobre y el mercurio, que se encuentran a veces libres y generalmente formando sulfuros (calcopirita y cinabrio) y arseniuros.

Los metales no nobles, se encuentran algunas veces como sulfuros o cloruros, etc., pero corrientemente forman compuestos oxigenados como carbonatos, sulfatos, silicatos, etc. Así sucede con el calcio, el hierro y otros.

Hay que hacer notar que todo lo anterior no son más que reglas generales que presentan muchas excepciones, pues de igual manera que no hay una perfecta separación entre metales nobles, seminobles y no nobles, tampoco la hay entre los tipos de compuestos que forman unos y otros.

De todos los compuestos metálicos, sólo se encuentran en la parte de la corteza terrestre sujeta a cambios de temperatura y a la acción disolvente del agua de lluvia, aquellos que son estables e insolubles. Los que son muy solubles se encuentran en el agua del mar o en depósitos terrestres subterráneos, procedentes de la evaporación de mares antiguos o lagos, como sucede con el cloruro sódico y otros.

Importancia de los metales. — No es preciso resaltar la importancia de los metales: basta echar una ojeada a nuestro alrededor para ver el gran número de objetos metálicos de que nos servimos de ordinario y las enormes aplicaciones que tienen. Ya el descubrimiento y uso de los metales significó para el hombre prehistórico un cambio de vida tan notable como lo fue luego el descubrimiento de la electricidad y como lo será sin duda el reciente descubrimiento de la energía atómica.

El primer metal que conoció el hombre fue el cobre y luego el hierro. Los alquimistas conocían siete metales: oro, plata, mercurio, cobre, estaño, hierro y plomo, que designaban con los nombres de los siete mayores astros: Sol, Luna, Mercurio, Venus, Júpiter, Marte y Saturno. Hoy tienen especial importancia unos veinte metales, entre los cuales están: hierro, cobre, cinc, estaño, aluminio, plomo, mercurio, níquel, cromo, cobalto, platino, oro, plata y otros.

De todos el hierro es el verdadero rey de los metales, pues su impor-

tancia y el gran número de sus aplicaciones está muy por encima de los demás. El aluminio es uno de los metales más recientemente conocidos, y no se ha extendido su uso hasta nuestros días, cuando se ha podido obtener industrialmente en grandes cantidades por electrólisis. No obstante sus aplicaciones crecen incesantemente, lo mismo que la cantidad que se consume del mismo.

Propiedades físicas de los metales. — Los metales son sólidos a temperatura ordinaria excepto el mercurio que es líquido, y de color blanco o gris, salvo el cobre (rojo) y el oro (amarillo). Tienen brillo metálico característico y conducen bien la electricidad y el calor.

Aunque no ha sido aceptada de una manera general una teoría que explique todas las propiedades de los metales, parece ser y así se admite, que los átomos de los metales no pueden formar moléculas estables por combinación de dos o más átomos iguales. Sus cristales se encuentran formados por una red de iones y que en todo el cristal se encuentra difundida una nube de electrones «semilibres», que se mueven libremente en el interior del metal y son la causa de la conductibilidad eléctrica y calorífica, de la opacidad de los metales, del brillo, etc.

La resistencia eléctrica de los metales, disminuye con la temperatura, siendo prácticamente nula en las proximidades del cero absoluto. Entonces reciben el nombre de superconductores.

Otras propiedades características de los metales y que éstos poseen en mayor o menor grado, son las siguientes.

Maleabilidad. — Es la propiedad por la que los metales pueden extenderse en láminas muy finas. Los metales más maleables son el oro y la plata.

Ductibilidad. — Consiste en que los metales pueden estirarse en hilos muy finos. El platino es el metal más dúctil.

Dureza. — Es la propiedad que consiste en no dejarse rayar. La dureza es muy variable de unos metales a otros: mientras unos se rayan con la uña (sodio y potasio) otros, y especialmente algunos aceros, tienen dureza superior al cuarzo.

Tenacidad. — Es la propiedad por la que los metales resisten a la rotura. Varía también mucho de unos metales a otros.

Elasticidad. — Es la propiedad que consiste en recuperar la forma primitiva después de ser deformados. Es también variable. El plomo es muy poco elástico, mientras que ciertos aceros son casi perfectamente elásticos, llegando a romperse antes que deformarse.

Otras propiedades de los metales son también muy variables. Así sucede con la densidad. Mientras unos metales como el el litio, sodio y potasio flotan sobre el agua, otros como el platino, el osmio y el uranio, tienen densidades más de veinte veces superiores al agua. Mientras unos

metales funden a temperaturas muy bajas, como el cesio (26,4°), otros funden a temperaturas elevadísimas como el volframio (3400°).

Propiedades químicas de los metales. — Desde el punto de vista químico los metales se caracterizan por su carácter electropositivo, es decir, por su tendencia a formar iones positivos o cationes que pueden existir aisladamente (en las disoluciones de las sales metálicas) o unidos a radicales negativos formando sales.

Un átomo metálico para convertirse en ion, debe ceder uno o varios electrones a otro elemento, y su carácter más o menos electropositivo es consecuencia de la mayor o menor facilidad del metal para ceder esos electrones.

Los metales más electropositivos, como el sodio y potasio, desalojan a los iones H^+ del agua y desprenden hidrógeno en contacto con ella; porque ceden al ion hidrógenos un electrón, con lo que éste queda libre:

$$2\,Na + 2\,H^+ = 2\,Na^+ + H_2$$

$$\text{o sea:}\quad 2\,Na + 2\,H_2O = 2\,NaOH + H_2$$

Otros metales menos activos, sólo desalojan a los iones hidrógeno cuando éstos se encuentran abundantes, como sucede en las disoluciones diluidas de los ácidos. Estos metales desprenden hidrógeno con los ácidos diluidos:

$$Zn + 2\,H^+ = Zn^{++} + H_2$$

$$\text{o sea:}\quad Zn + 2\,HCl = Cl_2Zn + H_2$$

Los metales menos activos no se atacan por los ácidos diluidos, como sucede con el cobre, el mercurio, plata, etc. Estos metales sólo son atacados por los ácidos oxidantes, como el nítrico o sulfúrico concentrado, y entonces no desprenden hidrógeno sino NO, NO_2 ó SO_2, que son productos de reducción de estos ácidos:

$$2\,SO_4H_2 + Cu = SO_4Cu + SO_2 + 2\,H_2O$$

De manera semejante transcurre la oxidación de los metales por la acción del oxígeno del aire. (En general se llama oxidación la acción por la cual un elemento o radical cede electrones a otro. El elemento que cede electrones se dice que se oxida y el que los recibe se dice que se reduce.)

El hierro en contacto con el oxígeno del aire, cede a éste electrones y se convierte en ion positivo, mientras que el oxígeno los recibe y se convierte en ion negativo, uniéndose ambos y formando un óxido:

$$Fe + O = Fe^{++} + O^=$$

o sea:

$$2\,Fe + O_2 = 2\,FeO$$

Se comprende que los elementos más inestables o no nobles sean los más activos o electropositivos y los más estables o nobles los menos activos o menos electropositivos.

A veces los metales se oxidan sólo superficialmente, debido a que la capa de óxido formada es sumamente compacta e impide que el oxígeno continúe su acción en el interior de la masa metálica. Esto ocurre con el cinc, el estaño y sobre todo el aluminio. Éste se recubre de una capa finísisa que apenas hace perder su brillo al metal, pero completamente impermeable y protectora.

Otras, por el contrario, el óxido formado es permeable y a través de sus poros continúa la oxidación hasta alcanzar toda la masa metálica. Esto ocurre con el hierro, por lo que este metal se suele proteger contra la oxidación.

Los óxidos metálicos tienen carácter básico, es decir, son capaces de reaccionar con el agua formando hidróxidos.

Corrosión. Manera de evitarla. — La corrosión, que consiste en la destrucción lenta del metal por la acción del aire, la humedad y los agentes químicos, presenta problemas de gran interés práctico, pues resulta de vital interés el evitarla o al menos disminuirla.

La corrosión se evita de diferentes maneras:

1. Por protección mediante capa metálica. Tiene lugar recubriendo el metal por una delgada capa de otro metal inalterable (níquel o cromo), o que sólo se oxide superficialmente, sin que la oxidación penetre la masa metálica (aluminio, cinc, estaño).

2. Por protección mediante capa química de compuestos metálicos. El metal se recubre de óxidos, especialmente óxido de plomo (minio), fosfatos y compuestos análogos.

3. Por protección mediante capa no metálica. El metal se recubre con resinas sintéticas, barnices, lacas, esmaltes y pinturas.

Aleaciones. Amalgamas. — Los metales en forma pura tienen aplicaciones importantes pero relativamente limitadas. En cambio, fundidos y mezclados, forman *aleaciones* que presentan propiedades muy interesantes que con frecuencia no tienen los metales separadamente.

La obtención de las aleaciones se realiza fundiendo juntos los metales que se quiere alear, dejando enfriar luego la mezcla. Así se obtienen el *latón* (cobre y cinc), el *bronce* (cobre y estaño), la *aleación de imprenta* (antimonio y plomo), *aleación de plomeros* (estaño y plomo), y otras aleaciones muy interesantes, como el *duraluminio*, los *bronces de aluminio*, *aceros especiales*, etc.

Las aleaciones formadas por el mercurio y diversos metales, se obtienen muchas veces sin más que poner en contacto el mercurio con el metal y reciben el nombre de *amalgamas* (amalgama de oro y de platino).

Las aleaciones presentan propiedades diferentes a sus componentes, tanto en su aspecto físico como en tenacidad, dureza, resistencia a la corrosión y frente a los agentes químicos.

Las propiedades de las aleaciones dependen también de su estructura, y por ello se modifican parcialmente cuando se estiran, laminan o forjan. Por la misma razón dependen de la velocidad de enfriamiento, pues si se enfrían rápidamente se forman cristales metálicos muy finos y si lo hacen lentamente se obtienen cristales mayores.

Aunque los metales fundidos se mezclan en todas proporciones y formen una mezcla completamente homogénea, frecuentemente al solidificar dan un producto heterogéneo. El estudio de la estructura de las aleaciones, que no vamos a tratar aquí, constituye el objeto de la Metalografía.

Ejercicios

¿Qué son los metales y cómo suelen presentarse en la Naturaleza? ¿Cuáles son las principales propiedades de los metales?

¿En qué consiste la corrosión y cuáles son las formas más corriente de evitarla?

¿Qué son las aleaciones? Citar algunas aleaciones importantes y dar sus principales aplicaciones.

47. METALURGIA Y PROCESOS METALÚRGICOS: SIDERURGIA

La metalurgia y los procesos metalúrgicos. — *Se llama Metalurgia la parte de la Química que tiene por objeto el estudio de los métodos a seguir para la obtención de los metales a partir de los compuestos naturales, así como el de las propiedades de los metales en sus diferentes formas de presentación y sus cambios mediante tratamientos o por influencia de otras sustancias.*

El proceso metalúrgico necesario para obtener el estado puro de cada metal, depende de sus propiedades físicas y químicas y de la naturaleza de los minerales de que se ha de partir, por lo que cada caso es un problema particular.

Los minerales o mezclas de minerales de los que se pueden extraer industrialmente los metales reciben el nombre de *menas*. Los minerales que acompañan a las menas y que no son útiles industrialmente se llaman *gangas*

La metalurgia de los distintos metales comprende en general uno o varios de los siguientes procesos:

1. *Concentración de menas.* — Las primeras fases de tratamiento de una mena son puramente mecánicas y tienen por objeto concentrar o reunir los componentes de interés y prescindir de los que no lo tienen, es decir, separar y concentrar las menas.

Los métodos de concentración más corrientes se basan en la diferente densidad de unos minerales y otros y en las propiedades magnéticas de algunos. Son el método de flotación y el magnético.

a) El *método de flotación* se aplica especialmente a las menas de metales nativos o sulfurados. La mena finamente pulverizada se coloca en depósitos de agua a la que se añade un poco de aceite mineral. Cuando se agita violentamente mediante una corriente de aire a presión, las partículas de la mena son llevadas a la superficie en la película de aceite que rodea cada burbuja de aire, separándose así de la ganga, que queda en el fondo. Como se ve, en este caso la flotabilidad, más que una propiedad de la materia, es un fenómeno superficial.

b) El *método magnético* se funda en las propiedades magnéticas de algunos minerales. El mineral pulverizado se lleva en capa delgada a una cinta transportadora sin fin que gira sobre dos poleas. Dentro de una de ellas, aquella hacia la que avanza el mineral, un electroimán hace que se adhieran a la cinta las partículas de mineral magnético y mientras las restantes partículas caen verticalmente desde el extremo de la cinta, las primeras son retenidas unos momentos y caen separadamente.

Una vez concentrada la mena se somete a tratamientos adecuados. Los más importantes son:

2. *Tostación.* — La tostación se aplica a los minerales sulfurados y consiste esencialmente en calentarlos fuertemente con acceso de aire. De este modo el azufre se combina con el oxígeno del aire formando anhídrido sulfuroso, que se desprende mientras el metal pasa al estado de óxido unas veces y otras queda libre según su naturaleza:

$$\underset{\text{(Pirita de hierro)}}{S_2Fe} + O_2 = SO_2 + FeO$$

$$\underset{\text{(Cinabrio)}}{SHg} + O_2 = SO_2 + Hg$$

3. *Deshidratación y calcinación.* — Consiste en calentar el mineral, pero sin acceso de aire, a temperatura moderada (deshidratación) o a temperatura elevada (calcinación). La deshidratación se aplica generalmente a ciertos hidróxidos, que de esta manera pierden agua y se convierten en óxidos, como sucede con la bauxita, que es un óxido de aluminio hidratado, la cual se convierte en óxido de aluminio (alúmina), materia prima indispensable para la obtención del metal:

$$2\,Al(OH)_3 = Al_2O_3 + 3\,H_2O$$

La calcinación se aplica a minerales como carbonatos, que a temperatura muy elevada se descomponen, desprendiendo anhídrido carbónico y dejando óxido metálico. Así se obtiene la cal viva (óxido cálcico) a partir de la caliza (carbonato cálcico):

$$CO_3Ca = CaO + CO_2$$

Reducción. — Los óxidos metálicos obtenidos por los procesos antes citados y los que se encuentran como tales en la Naturaleza, se someten a un proceso de reducción, que consiste en tratarlos a temperatura elevada por un cuerpo como el carbono, el hidrógeno o el aluminio, que se apodera del oxígeno dejando libre el metal. En cada caso se emplea el reductor más conveniente.

Así se obtiene el cinc por reducción de su óxido por el carbón.

$$ZnO + C = CO + Zn$$

el cromo por reducción de su óxido por el aluminio (aluminotermia):

$$Cr_2O_3 + 2\,Al = Al_2O_3 + 2\,Cr$$

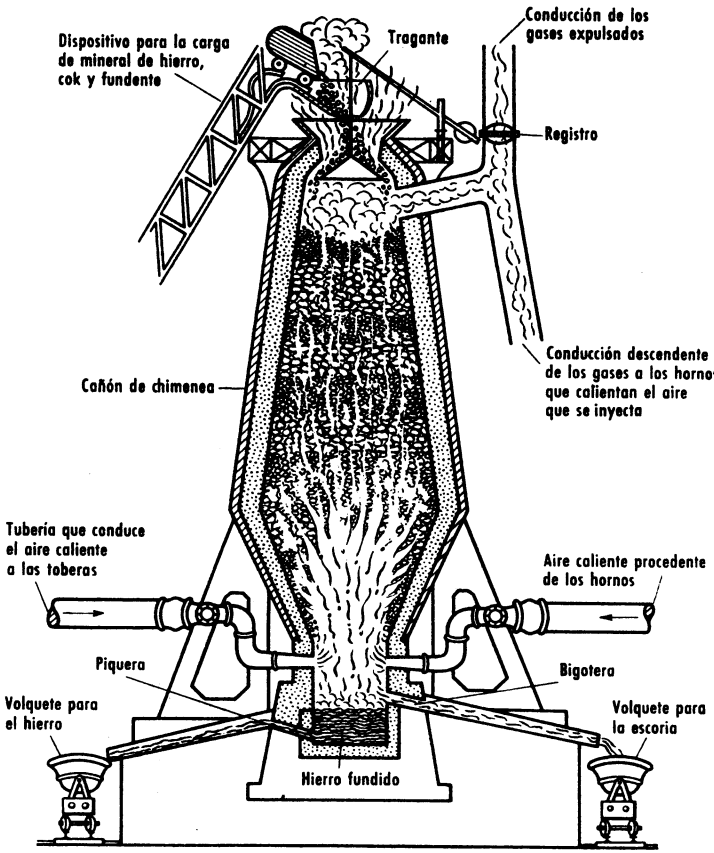
Electrólisis. — La electrólisis se aplica a la obtención de muchos metales que se encuentran bajo la forma de sales, realizándose la electrólisis de éstas, bien disueltas en agua o en estado de fusión. En algunas ocasiones las sales se obtienen previamente por tratamiento químico de los minerales naturales, como sucede con el cobre cuando se encuentra en minerales pobres; en este caso el mineral se trata con ácido sulfúrico en presencia de aire, disolviéndose como sulfato de cobre y esta disolución se somete a electrólisis.

Así se obtiene el sodio por electrólisis del cloruro sódico o del hidróxido sódico fundidos (en disolución el sodio al separarse metálico reaccionaría con el agua), el aluminio se obtiene por electrólisis de la alúmina (Al_2O_3) disuelta en criolita fundida, etc.

La electrólisis se emplea también en gran escala para el refino de los metales. Para ello el metal impuro se emplea como ánodo soluble, mientras en el cátodo se va depositando el metal puro. Así se refina el cobre, la plata, el hierro y otros.

Por su extraordinaria importancia vamos a estudiar con algún detalle la metalurgia del hierro, que se conoce con el nombre de siderurgia, así como los productos más importantes de este proceso.

Siderurgia. — La obtención industrial del hierro se hace hoy día exclusivamente por el procedimiento de los *hornos altos,* en los cuales se emplea preferentemente el óxido de hierro (hematites roja) y en menor proporción los óxidos hidratados o carbonatos de hierro, previa deshidratación y calcinación para convertirlos en óxidos. *El proceso consiste esencialmente en la reducción de los óxidos de hierro por el carbón a elevada*



Corte esquemático de un horno alto.

temperatura, a la que el hierro se funde disolviendo algo de carbono y de otros elementos que quedan incorporados formando la *fundición o arrabio.*

Descripción del horno alto. — Los hornos altos son hornos de cuba ensanchados en su parte media, recubiertos interiormente por ladrillos refractarios y exteriormente por plancha de hierro. La parte superior por donde se carga el horno se llama *tragante,* la parte ensanchada, *vientre,* y la inferior, donde se reúne el hierro fundido, *crisol.* La parte del horno comprendida entre el tragante y el vientre se llama *cuba,* y la comprendida entre el vientre y el crisol, *atalajes.* Por encima del crisol, a todo al-

rededor del horno, penetran unos tubos llamados *toberas,* por donde se insufla aire caliente a presión para producir la combustión del carbón. El crisol tiene un orificio de salida o *piquera,* por donde se extrae a intervalos el hierro fundido, y otro orificio más alto, llamado *bigotera,* para extraer la escoria que flota sobre la fundición.

Las materias primas. — Los óxidos de hierro que se han de tratar en el horno alto, se trituran hasta un tamaño de 10 a 60 mm. Los finos (menores de 10 mm) junto con cenizas de piritas, polvo de tragante y finos de retorno (finos procedentes de la máquina de sinterizar) adicionados de polvo de coque, convenientemente humedecidos, se someten a un proceso de *sinterización,* mediante el cual se tuestan y aglutinan formando trozos más o menos grandes. El material sinterizado se criba y mientras los trozos mayores de 20 mm se envían al horno alto, los llamados *finos de retorno* vuelven al proceso de sinterización.

Hornos de cok o coque. — Parte esencial de la instalación son los hornos de coque, donde una mezcla de hullas se calientan fuertemente fuera del contacto del aire, hasta convertirse en coque, al mismo tiempo que se desprende gas de hulla y una serie de subproductos importantes. El coque, que debe reunir condiciones especiales (coque metalúrgico) se tritura y criba, destinándose los gruesos a la carga del horno y los menudos al proceso de sinterización.

Las reacciones en el horno alto. — El horno alto se carga por el tragante con capas alternas de coque y mezcla del mineral de hierro o sinterizado con un fundente, que tiene por misión formar una escoria fácilmente fusible y ligera para que flote sobre el hierro fundido y lo preserve de la oxidación del aire que entra por las toberas. A medida que se consume la carga, se rellena el horno continuamente.

Una vez encendido el horno, se inyecta aire por las toberas y se produce una combustión muy viva del coque con temperaturas de 1500°. Los gases ascienden y calientan el horno saliendo todavía a unos 300°. Para aprovechar el calor de estos gases del tragante, se hacen pasar por unos recuperadores de calor, donde ceden su calor al aire que luego se inyecta por las toberas.

La carga del horno, a medida que desciende sufre una serie de cambios que pueden resumirse así: *a*) Calentamiento y secado; *b*) Reducción de los óxidos; *c*) Fusión incipiente, y *d*) Fusión total y operaciones finales.

Las reacciones que tienen lugar en el horno alto son complicadas, pero pueden expresarse esquemáticamente del siguiente modo:

1. El coque con abundante aire se quema y produce CO_2, el cual, al atravesar capas de coque al rojo, se reduce a CO, que es el verdadero agente reductor:

$$C + O_2 = CO_2 \qquad CO_2 + C = 2\,CO$$

2. El CO reduce sucesivamente los óxidos de hierro, aunque también en la zona de mayor temperatura el mismo carbón actúa como reductor:

$$Fe_2O_3 + CO = 2\,FeO + CO_2 \quad ; \quad FeO + CO = Fe + CO_2$$

3. La caliza que forma el fundente, primero se descompone dando óxido cálcico y éste, junto con la sílice y la alúmina que contiene la ganga del mineral, forma la escoria, que es un silicato alumínico cálcico.

4. Las impurezas que se han convertido también en óxidos, son reducidos como el hierro a elementos libres y quedan incorporados al hierro fundido.

El hierro fundido e impuro, llamado *arrabio*, se va acumulando en el crisol y periódicamente se deja salir por la piquera, conducido sobre regueros de arena a las cucharas de arrabio con las que se lleva al mezclador de hornos de acero o a la instalación de colar lingotes.

Productos siderúrgicos. — El arrabio obtenido de los hornos altos puede contener del 2 al 6 por ciento de carbono y cantidades más o menos grandes de manganeso, silicio, fósforo, azufre, etc., y da lugar a una serie de productos siderúrgicos importantes, que vamos a estudiar someramente.

Fundiciones. — Cuando el arrabio contiene más del 2 % de silicio, y menos de 0,2 % de manganeso, se conoce con el nombre de *fundición gris*, debido a su color producido por la separación al enfriarse una parte de carbono en forma de grafito. Esta fundición no reblandece antes de fundir, por lo que no se puede forjar ni soldar por golpe, pero es muy fluida y se emplea para fabricar objetos de hierro colado.

Cuando contiene menos del 0,5 % le silicio y más de 4 % de manganeso, resulta la *fundición blanca*. Esta fundición es muy dura, no admite temple y se emplea especialmente en la fabricación de aceros y hierro dulce.

Se obtienen *fundiciones especiales* conteniendo cantidades considerables de níquel, cromo, volframio, etc., agregando al horno alto las cantidades convenientes de los óxidos metálicos correspondientes. Estas fundiciones se emplean para usos especiales.

Acero. — *Se llama acero al hierro que contiene un máximo de 2,5 % de carbono y que puede adquirir temple.* Funde a unos 1350° y reblandece antes de fundir, por lo que se puede forjar y soldar por golpe.

El acero es elástico, pero cuando se calienta al rojo y enfría bruscamente, pierde elasticidad y adquiere gran dureza y fragilidad. En esto consiste el temple. Si el acero templado se calienta moderadamente (250°), pierde la fragilidad y recupera su elasticidad, conservando la dureza. Esta operación se llama *recocido*.

Aceros especiales. — Las propiedades del acero se modifican notablemente por adición de ciertos elementos. Así se obtienen aceros especiales de gran interés en la industria y en la técnica.

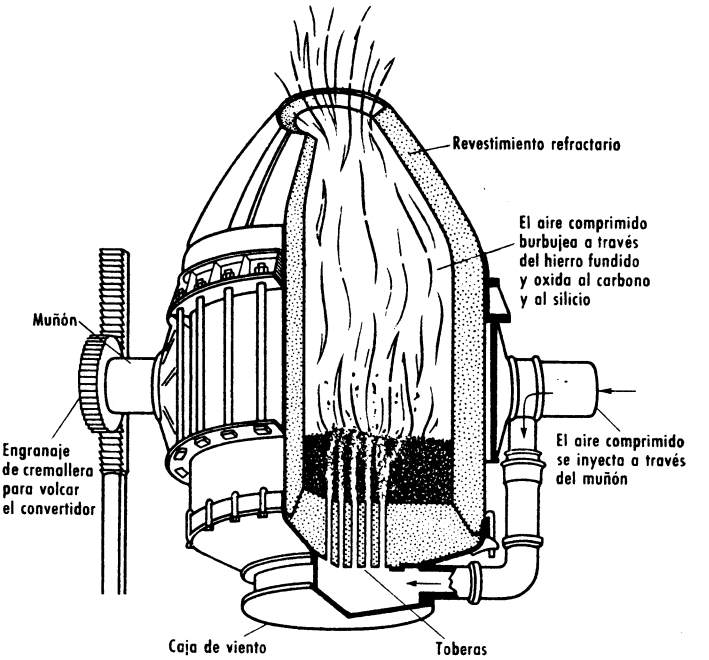
El acero con un 36 % de níquel se llama *invar*, debido a que no se dilata. Sirve para la construcción de instrumentos de medida.

Los *aceros al cromo*, con 12 % de este metal, resultan inoxidables y se emplean para fabricar cuchillos, armas blancas, etc.

Los *aceros rápidos*, que conservan su dureza aún calentándolos por encima de los 500° y son sumamente duros y tenaces, contienen además del cromo, volframio y vanadio. Se emplean para fabricar herramientas.

Hierro dulce. — *El hierro dulce contiene menos del 1 % de carbono y muy escasas impurezas.* Funde a temperatura tanto mayor cuanto menor sea su contenido en carbono, reblandece antes de fundir, por lo que se puede forjar, pero no adquiere temple. Es blando, dúctil, maleable, pero no tiene elasticidad.

Obtención industrial del acero y hierro dulce. — Tanto el acero como el hierro dulce, se obtienen a partir del arrabio, eliminando unos elemen-



El arrabio se convierte en hierro dulce o en acero en los convertidores de Bessemer. Aquí vemos el corte esquemático de uno de ellos.

tos y añadiendo otros si conviene. Se emplean los convertidores Bessemer y los hornos Siemens-Martin.

El *convertidos Bessemer* consiste en un recipiente en forma de pera, que puede girar sobre un eje horizontal para que se pueda descargar por un movimiento basculante y se encuentra revestido de material refractario.

Una vez cargado con el arrabio del horno alto, se insufla una corriente de aire a través de la masa fundida, mediante unas toberas situadas en el fondo del convertidor. El aire oxida al carbono, silicio y manganeso de la fundición, y mientras el óxido de carbono se desprende gaseoso, los otros son retenidos por el revestimiento formando escoria. El calor producido por esas combustiones mantiene la masa en fusión y la operación se da por terminada cuando se comprueba que no se desprende ya óxido de carbono.

Si la fundición contiene fósforo, porque el mineral de que procede lo lleva en la ganga, el revestimiento del convertidor debe ser básico (cal o magnesia) y entonces el anhídrido fosfórico formado se une al revestimiento formando fosfatos, dando lugar a las escorias Thomas, que se emplean como abono fosforado.

Eliminadas de la fundición todas las impurezas, queda convertida en hierro dulce. Si se quiere obtener acero o aceros especiales, antes de terminar se añaden al convertidor las cantidades necesarias de hierro con una proporción de carbono conocida, o de los metales que se quieren añadir al hierro.

Los *hornos Siemens-Martin* son fijos o basculantes de gran capacidad y su suelo está revestido de material refractario de naturaleza conforme al arrabio a tratar, lo mismo que sucedía en los convertidores Bessemer.

Se cargan con arrabio y chatarra de hierro en proporción adecuada para que la mezcla final contenga la cantidad de carbono y otros elementos que se desea y la masa se mantiene en fusión mediante los mecheros en los que se quema gas de los hornos de coque o aceites pesados.

El proceso en los convertidores Bessemer es más rápido, pero para obtener aceros finos y de gran calidad se prefieren los hornos Siemens.

Aún se obtienen aceros de composición y propiedades más constantes mediante *hornos eléctricos,* que producen aceros de gran calidad.

Ejercicios

¿Qué se entiende por metalurgia? Descríbanse sucintamente los principales procesos metalúrgicos, poniendo algún ejemplo de los mismos.

¿Qué es la siderurgia? ¿Cómo es y cuáles son las partes esenciales de un horno alto? ¿Qué materiales se introducen en el horno alto para la obtención del hierro? ¿Cuáles son en esencia las reacciones que tienen lugar en el alto horno?

¿En qué se diferencian la fundición blanca y la gris ¿Cuál es la composición y principales características del acero?

¿Cómo se obtiene el acero y el hierro dulce a partir de la fundición? Descríbase sucintamente las operaciones que tienen lugar en los convertidores.

¿Qué son aceros especiales? Citar algunos de ellos y sus principales aplicaciones.

48. QUÍMICA ORGÁNICA. HIDROCARBUROS. PETRÓLEOS

Química orgánica. Generalidades. — Hasta la mitad del siglo XIX las sustancias químicas elaboradas por los seres vivos, animales y vegetales, se consideraron de naturaleza diferente a las que ofrecía el mundo mineral y de las que hasta entonces sabía fabricar el hombre. Se creía que las primeras solamente podían formarse en el interior de los seres vivos gracias a una fuerza desconocida, llamada fuerza vital, de la que el hombre no podía disponer naturalmente en el laboratorio, e incluso que las leyes que regían la formación de los compuestos orgánicos eran distintas de las que regían en el mundo inorgánico. De aquí que la Química se dividiese en dos grandes ramas: la Química Inorgánica, que estudiaba los compuestos inorgánicos, y la Química Orgánica, que estudiaba los compuestos orgánicos, es decir los compuestos elaborados por los seres vivos.

Sin embargo, ya en 1818, Wöhler consiguió obtener urea partiendo de sustancias minerales, y poco a poco fueron obteniéndose en los laboratorios sustancias orgánicas cuya formación se había creído privativa de los seres vivos, así como muchas otras de naturaleza semejante, llegándose al convencimiento de que entre la Química Inorgánica y la Química Orgánica no existe diferencia esencial y que las leyes generales que rigen la formación de los compuestos inorgánicos se pueden aplicar igualmente a los compuestos orgánicos.

A pesar de todo se ha mantenido la división de la Química en Inorgánica y Orgánica, teniendo ésta como objeto el estudio de los compuestos de carbono, en razón del elevadísimo número de las combinaciones de este elemento y por razones de orden didáctico, ya que la química del carbono presenta ciertas particularidades que la diferencian de la química de los restantes elementos.

Caracteres particulares de los compuestos orgánicos. — Si bien, como se ha dicho, no existen diferencias fundamentales entre compuestos orgánicos e inorgánicos, poseen los primeros y las reacciones entre los mismos ciertos caracteres particulares que justifican la distinción entre química inorgánica y química orgánica. Pueden citarse:

1. *Los compuestos orgánicos son poco estables, descomponiéndose en general antes de los 500°.*

2. *Los compuestos orgánicos dan en general reacciones lentas, limitadas y con escaso efecto tèrmico.*

3. *Los compuestos orgánicos son, corrientemente, insolubles en agua, pero se disuelven en otros disolventes orgánicos, como el alcohol, el benceno, el éter, etc.*

4. *En la formación de los compuestos orgánicos intervienen muy pocos elementos;* suelen contener, además del carbono, hidrógeno y oxígeno, con frecuencia nitrógeno, algunas veces halógenos, azufre o fósforo. Otros elementos forman parte de los compuestos orgánicos muy rara vez y algunos nunca se han encontrado en ellos.

El carácter especial del carbono. — El extraordinario número de compuestos de carbono conocidos se debe al carácter particular del carbono. Efectivamente, por marcar el tránsito de los elementos electropositivos y los electronegativos, se une con igual facilidad a unos y otros. Por otra parte, la tetravalencia del carbono y la posibilidad de saturar sus valencias no sólo con otros elementos sino consigo mismo, para formar cadenas más o menos largas y complejas, hace crecer enormemente el número posible de compuestos de carbono. Finalmente contribuye a aumentar aún más el número posible de compuestos de carbono, la existencia de isómeros, que son cuerpos que teniendo igual forma empírica tienen diferentes propiedades, debido a la diferente ordenación de sus átomos dentro de la molécula.

Hidrocarburos. Su clasificación. — *Se denominan hidrocarburos los compuestos que contienen solamente carbono e hidrógeno.*

Los átomos de carbono se encuentran enlazados entre sí formando cadenas, bien abiertas (hidrocarburos acíclicos) o cerradas formando anillos (hidrocarburos clíclicos).

El enlace de un carbono con otro puede realizarse mediante un enlace sencillo, es decir, empleando para ello cada átomo de carbono una de sus cuatro valencias ($-\overset{|}{\underset{|}{C}}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-$) por enlaces dobles o triples, si emplean para realizar la unión dos o tres valencias cada átomo ($-\overset{|}{\underset{|}{C}}=\overset{|}{\underset{|}{C}}-$; $-C \equiv C-$). En los hidrocarburos, las valencias de los carbonos que no se saturan con otros átomos de carbono, están saturadas por átomos de hidrógeno.

Si los hidrocarburos sólo contienen enlaces sencillos se llaman *hidrocarburos saturados.* Si tienen algún enlace doble reciben el nombre de *hidrocarburos eténicos.* Por fin, si contienen algún enlace triple se llaman *hidrocarburos etínicos.*

No podemos en este tratado elemental estudiar los hidrocarburos y sólo estudiaremos uno de ellos como más representativo e importante.

El acetileno. — El acetileno o etino tiene la fórmula C_2H_2, o bien desarrollada H—C≡C—H. Es decir es un hidrocarburo no saturado etínico.

Se obtiene en el laboratorio y en la industria por la acción del agua sobre el carburo de calcio (C_2Ca):

$$C_2Ca + 2\,H_2O \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$$

En la industria se obtiene también a partir del gas natural o de los gases de craking de la industria del petróleo, que contienen metano (CH_4), el cual, bajo la acción del arco eléctrico, da una mezcla con 10 % de acetileno:

$$2\,CH_4 \rightarrow C_2H_2 + 3\,H_2$$

Es el acetileno un gas incoloro de olor no desagradable cuando está puro, pero que frecuentemente debido a sus impurezas posee mal olor. *Se disuelve poco en agua, pero mucho en algunos disolventes orgánicos, especialmente en acetona. Se liquida a temperatura ordinaria por presión.*

Desde el punto de vista químico el acetileno es un compuesto poco estable, pues cuando está comprimido se descompone por la acción de la chispa eléctrica con fuerte explosión, dando carbono e hidrógeno libres:

$$C_2H_2 \rightarrow 2\,C + H_2$$

Estando el acetileno formado por dos elementos combustibles reaccionará fácilmente con el oxígeno.

Haciendo salir el acetileno por un tubo estrecho y acercando a la salida una llama, arde con llama brillante, debido a las partículas de carbón incandescente que contiene. Esto se debe a que el acetileno es proporcionalmente muy rico en carbono y necesita para arder completamente 12,5 veces su volumen de aire, lo que no sucede en el caso anterior, quedando partículas de carbón incandescente pero sin arder que dan brillo a la llama, que es fuliginosa (ahuma).

Cuando el acetileno se quema con abundante aire o con oxígeno, como sucede a la salida del soplete oxiacetilénico, produce una llama poco luminosa pero sumamente calorífica.

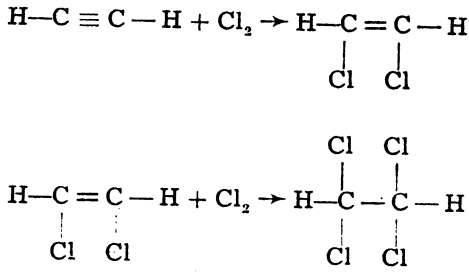
$$2\,C_2H_2 + 5\,O_2 \rightarrow 4\,CO_2 + 2\,H_2O + \text{calor}$$

La mezcla de acetileno y aire (1 vol. de acetileno para 2.5 de aire) detona con extraordinaria violencia al acercarle una llama.

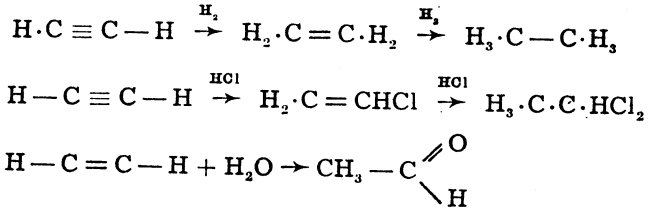
Acción del cloro sobre el acetileno. — Siendo el acetileno poco estable, como se ha dicho, y teniendo el cloro gran afinidad para el hidrógeno, el cloro se une al hidrógeno del acetileno y deja libre carbono:

$$C_2H_2 + Cl_2 \rightarrow 2\,C + 2\,ClH$$

Sin embargo, bajo la acción suave del cloro (empleando gases completamente puros y en presencia de cloruro de aluminio como catalizador) se evita la destrucción de la molécula de acetileno y el cloro se adiciona sobre el acetileno, lo que se interpreta diciendo que el acetileno es un compuesto no saturado:

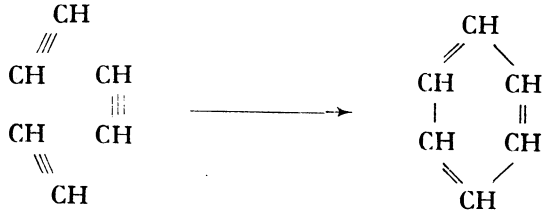


Reacciones de adición. — El carácter no saturado del acetileno se manifiesta también por la facilidad con que se unen a su molécula otras, tales como la del hidrógeno, el ácido clorhídrico, el agua, etc.:



Estas reacciones de adición son muy importantes en la industria, pues el cloruro de vinilo ($CH_2 = CHCl$) es la base de fabricación de plásticos y el aldehído acético (CH_3CHO) es un producto intermedio en la fabricación sintética del ácido acético.

Polimerización. — También se manifiesta el carácter no saturado del acetileno por la facilidad con que se unen tres moléculas de este gas para formar un nuevo compuesto de gran importancia industrial, llamado benceno, el cual tiene igual composición centesimal que el acetileno y un peso molecular tres veces mayor:



Los cuerpos como el acetileno y el benceno, que tienen igual composición centesimal y cuyos pesos moleculares son uno múltiplo de otro se

llaman cuerpos polímeros, y la reacción en que se forma el de peso molecular más alto a partir del peso molecular más pequeño, se llama polimerización.

El acetileno tiene gran importancia industrial. Se emplea en el soplete oxiacetilénico por la elevada temperatura que produce, para cortar y soldar metales, y en pequeña escala para la iluminación.

Se emplea en la industria como materia prima para la obtención de ciertos plásticos, para la obtención del ácido acético y de otros importantes productos.

El petróleo. — El petróleo es un líquido de gran importancia industrial y económica. Se encuentra abundante en la naturaleza en diversos lugares de la Tierra, especialmente en Estados Unidos, Canadá, Méjico, Venezuela, Rumania, Rusia, Oriente Medio, etc.

Parece que el petróleo se ha formado en la descomposición lenta de sustancias orgánicas, bajo la acción de grandes presiones y elevadas temperaturas, fuera del contacto del aire. Muy probablemente esas sustancias orgánicas fueron restos de peces y otros pequeños animales (plancton) que vivieron en mares que se secaron y desaparecieron. Dichos restos orgánicos quedaron en terrenos arenosos y cubiertos después por capas de terreno impermeable, se transformaron en el decurso de siglos, en mezclas complejas de hidrocarburos, que constituyen el petróleo.

El petróleo se encuentra empapando terrenos permeables, aprisionados entre capas pizarrosas, acompañado muchas veces de gases combustibles y de agua salada. Se extrae mediante perforaciones que llegan hasta el petróleo, por las cuales muchas veces sale espontáneamente el petróleo por la presión de los gases que le acompañan y otras se saca mediante bombas.

Es un líquido de color pardo o negro, de olor oliáceo y densidad variable inferior a la del agua. Arde fácilmente, desprendiendo gran cantidad de humo y con gran potencia calorífica. Un kilo de petróleo proporciona de 9000 a 11 000 kilocalorías.

Elaboración del petróleo. — En un principio se usaba el petróleo tal como se encuentra en la naturaleza, como combustible, pero a partir de la mitad del siglo pasado empezó su explotación cada vez en mayor escala, y para el mejor aprovechamiento del mismo se empezaron a separar sus componentes en fracciones. En esto consiste esencialmente la elaboración del petróleo.

Cuando se somete el petróleo bruto a la operación de destilación, salen separadamente y de forma sucesiva sus distintos componentes, empezando por los de punto de ebullición más bajo. De esta manera se realiza la separación de tres fracciones.

1. *Bencinas.*
2. *Petróleo para el alumbrado.*
3. *Residuos de petróleo.*

La fracción más importante y de mayores aplicaciones es la primera, la cual se somete a una nueva destilación fraccionada para obtener los siguientes productos:

a) *Éteres de petróleo.*
b) *Gasolinas.*
c) *Bencinas.*
d) *Ligroína.*
e) *Petroleínas.*

Todos estos líquidos son magníficos carburantes que se emplean para diferentes tipos de motores de explosión.

De la tercera fracción, o residuos de petróleo, se obtienen por destilación en corriente de vapor de agua, otros productos de gran interés, sobre todo los aceites lubricantes, la vaselina y la parafina.

También merecen citarse el asfalto o pez de petróleo, que queda como residuo después de la destilación.

Dada la gran demanda de carburantes de bajo punto de ebullición, una gran parte de las fracciones de puntos de ebullición altos se someten actualmente a una operación llamada *cracking,* para obtener de ellas hidrocarburos ligeros. Esta operación consiste en una destilación a temperaturas alrededor de los 500° y presiones elevadas, con lo cual las moléculas complicadas y grandes se rompen en moléculas más sencillas, resultando así hidrocarburos de bajo punto de ebullición.

Ejercicios

¿Qué es la Química Orgánica? ¿Cuáles son las particularidades que la distinguen de la Química Inorgánica? ¿Hay alguna diferencia esencial entre ambas ramas de la Química?

¿Qué son los hidrocarburos? ¿Cómo se clasifican?

¿Qué es el acetileno y cuáles son sus principales propiedades?

¿Qué es el petróleo y qué origen se le supone? ¿En qué consiste su elaboración y cuáles son los principales productos de la misma?

49. ALCOHOL Y ÁCIDO ACÉTICO

Alcohol vínico. Su obtención. — El alcohol vínico o alcohol etílico es un producto de gran importancia para la industria y para la economía de los países agrícolas como el nuestro. Tiene por fórmula C_2H_5OH, o en forma desarrollada $CH_3CH_2 \cdot OH$.

Se obtiene por fermentación de sustancias que contienen almidón o de los azúcares fermentescibles.

Cuando se parte de las patatas o de cereales, es necesario someter estas materias primas a una transformación previa que convierta el almidón en azúcar fermentable; es decir, en glucosa.

Para ello la sustancia amilácea se somete a la acción del vapor de agua a presión con objeto de romper las membranas de las células que encierran el almidón. El producto resultante se trata por el fermento de la malta (amilasa), que convierte el almidón en maltosa, y ésta, a su vez, por acción de otro fermento también contenido en la malta (maltasa), se transforma en glucosa, la cual puede ya fermentar dando alcohol.

$$\text{Almidón} \xrightarrow{\text{(amilasa)}} \text{maltosa} \xrightarrow{\text{(maltasa)}} \text{glucosa}$$

Los líquidos obtenidos que contienen glucosa, y los que la contienen de manera natural, como el mosto de uva o los jugos de otros frutos maduros, son sometidos a la acción de ciertas levaduras (levadura de cerveza), que le hacen fermentar, produciendo alcohol y desprendiendo anhídrido carbónico:

$$\underset{\text{(glucosa)}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{(alcohol)}}{2\,C_2H_5OH} + 2\,CO_2$$

La acción de la levadura de cerveza se debe a la presencia de un microorganismo *(Saccharomyces cerevissae)* que vive y se reproduce en el líquido azucarado, segregando un producto soluble llamado *zymasa*, que provoca la fermentación alcohólica.

El líquido fermentado conteniendo alcohol se somete posteriormente a distintos tratamientos según sea su destino. Unas veces, después de una clarificación y un reposo más o menos largos, se emplea como bebida, como sucede con el vino ordinario, la cerveza y otros. Algunas veces el líquido se somete a una destilación sencilla, y como el alcohol es más volátil que el agua, el destilado sale enriquecido en alcohol. Según las materias primas que se hayan empleado y las sustancias aromáticas que se agreguen, se obtienen los distintos destilados o licores como el coñac, el ron, etc.

Otras veces, los líquidos fermentados conteniendo una cantidad de alcohol que no suele pasar del 10 por 100, se destinan a la obtención del alcohol puro. Para ello se destilan repetidamente para enriquecer cada vez más el líquido en alcohol, o lo que es más práctico y se hace modernamente, se somete a una destilación y rectificación simultánea mediante aparatos bastante complicados, con los que se obtiene un alcohol hasta del 96 por 100 de riqueza.

Estos aparatos consisten esencialmente en unas calderas de destilación sobre las que se encuentra una columna rectificadora de platillos. Ésta, a su vez, es una columna de cobre que contiene en su interior una

serie de platillos que la dividen en compartimientos, los cuales quedan siempre cubiertos de líquido a temperatura de ebullición. Los compartimientos se comunican entre sí por tubos de desagüe, de forma que cuando un platillo cualquiera llega a tener líquido por encima de cierto nivel, rebosa y pasa al platillo inmediato inferior. Los vapores pasan sucesivamente de un platillo a otro y son obligados a burbujear en el líquido que contienen, cediendo a éste parte de su calor y arrastrando hacia arriba las partes más volátiles de cada platillo. Así, cada platillo hace las veces de caldera de destilación; el líquido contenido en ellos es cada vez más rico en alcohol, de abajo arriba, hasta que del último platillo salen vapores que contienen alcohol de 96 % de riqueza y un 4 % de agua.

Alcohol absoluto. — El alcohol absoluto, es decir, exento de agua, no puede obtenerse por destilación. Es preciso para ello tratar el alcohol de 96 % por carbonato potásico fundido o por cal viva, que son sustancias que absorben el agua que aún contiene. Después de estar algún tiempo en contacto ambas sustancias, se destilan para separar el alcohol.

Alcohol desnaturalizado. — Como el alcohol destinado a la bebida está sometido a grandes impuestos, el alcohol que se desea destinar a otros usos se desnaturaliza; es decir, se adultera en forma que le haga inútil para aquel fin. Esto se hace añadiéndole algún colorante o bien una pequeña porción de alcohol metílico impuro. El alcohol desnaturalizado está sometido a impuestos mucho más bajos.

Propiedades del alcohol etílico. — *El alcohol etílico (absoluto), es un líquido incoloro de olor agradable y sabor ardiente, menos denso que el agua (d = 0,8) y miscible con ella en todas proporciones.* Como la densidad de la mezcla hidroalcohólica varía entre la densidad del alcohol y la del agua según la proporción de uno y otro componente, se puede determinar la riqueza en alcohol de una solución acuosa midiendo su densidad. En la práctica se emplean para ello unos densímetros llamados *alcoholómetros de Gay-Lussac*, que por simple lectura indican el porcentaje de alcohol de la disolución.

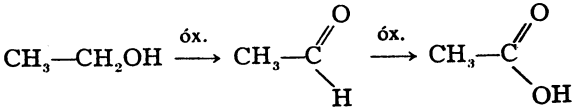
El alcohol etílico es un gran disolvente de numerosas sustancias. Disuelve el yodo especialmente en presencia de yoduro potásico, formando la tintura de yodo. Disuelve esencias aromáticas, por lo que se usa en gran cantidad en perfumería. También disuelve lacas y resinas, cuyas disoluciones constituyen los barnices.

Estando constituido el alcohol por carbono e hidrógeno (además del oxígeno) se comprende que sea buen combustible. Así arde en el aire con llama pálida y destrucción de la molécula:

$$2\,CH_3 - CH_2OH + 6\,O_2 = 4\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{calor}$$

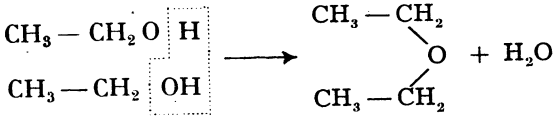
Sin embargo, la oxidación del alcohol puede llevarse a cabo suavemente por el oxígeno del aire en presencia de negro de platino, que actúa

como catalizador, convirtiéndose primeramente en aldehído acético y luego en ácido acético, según las reacciones esquemáticas siguientes:



(alcohol) (aldehído acético) (ác. acético)

Por la acción de agentes deshidratantes puede eliminarse agua del alcohol etílico. Si la acción es moderada (a 140° en presencia de alúmina) se elimina una molécula de agua entre dos de alcohol y se obtiene éter etílico (éter de las farmacias), reacción que se comprende haciendo uso de la fórmula desarrollada del alcohol:



Si la acción es enérgica (a 400° en presencia de alúmina) la deshidratación es total y se forma etileno:

$$CH_3—CH_2OH \longrightarrow H_2O + CH_2 = CH_2$$

La reacción inversa, es decir, la hidratación del etileno para obtener alcohol etílico, es el procedimiento industrial para la obtención del alcohol en los países industriales, pues el etileno es un producto contenido entre los gases de los hornos de coque. Una tonelada de hulla produce aproximadamente 4,5 m^3 de etileno, que produce 10 litros de alcohol etílico absoluto.

El alcohol etílico es un producto industrial de gran importancia. Se emplea en la fabricación de carburantes; como materia prima para la obtención de ácido y anhídrido acético, utilizados en la industria de las materias plásticas; como materia prima en la obtención de numerosos compuestos de síntesis, como resinas, caucho, aceites de engrase sintéticos, etc. También se usa como disolvente en perfumería, industrias de barnices y pinturas y para la fabricación de licores y bebidas alcohólicas.

El ácido acético. Su obtención. — El ácido acético tiene por fórmula $CH_3 \cdot COOH$, y es el componente esencial del vinagre.

Se obtiene por oxidación del alcohol etílico, por síntesis y por destilación seca de la madera.

La *oxidación del alcohol etílico* se emplea especialmente, cuando se trata de obtener disoluciones poco cencentradas de ácido, para usos comestibles (vinagre). Parte de líquidos alcohólicos poco concentrados, especialmente del vino que se ha empezado ya a acidificarse (picado) que no es

apto para su empleo como vino. El método consiste esencialmente en dejar el líquido alcohólico en presencia del aire para que por la acción de ciertas bacterias *(micoderma acetti)* se convierta lentamente en vinagre.

El líquido alcohólico suele hacerse pasar a través de toneles llenos de virutas de haya (procedimiento rápido) que sirven de alojamiento para las bacterias. El alcohol, al atravesar el material de relleno, es oxidado desarrollándose calor, saliendo ya convertido en vinagre por la parte inferior. Por el calor desarrollado se establece una corriente de aire ascendente, que es el que, bajo la acción de las bacterias, realiza la oxidación del alcohol.

$$\underset{\text{(alcohol)}}{CH_3 - CH_2OH} + O_2 \rightarrow \underset{\text{(ac. acético)}}{CH_3 - COOH} + H_2O$$

Cuando se quiere obtener vinagre de mejor calidad, se hace permanecer el líquido alcohólico en contacto con las virutas de madera por espacio de un tiempo más largo, y de esta manera, si bien la formación del vinagre es más lenta, se obtiene un producto de mejor aroma y calidad.

Los vinagres que circulan en el comercio no contiene más allá de un 6 a 7 por 100 de ácido acético.

La síntesis del ácido acético consiste en la hidratación catalítica del acetileno, seguida de la oxidación del aldehído acético obtenido, reacciones a las que se ha hecho referencia anteriormente.

La hidratación del acetileno tiene lugar a temperatura ordinaria en presencia de sulfato mercúrico como catalizador:

$$CH \equiv CH + H_2O \rightarrow CH_3 - CHO$$

y la oxidación del aldehído acético tiene lugar por el oxígeno del aire a unos 60° bajo presión y en presencia también de catalizadores:

$$CH_3 - CHO + \tfrac{1}{2}\, O_2 \rightarrow CH_3 - COOH$$

La *destilación seca de la madera,* se realiza cortando ésta en pequeños trozos con los que se llenan grandes retortas que se calientan exteriormente, desprendiéndose una serie de productos gaseosos que a la salida de las retortas pasan a un refrigerante. Unos permanecen en estado gaseoso, otros se condensan formando un líquido llamado vinagre de madera, que sobrenada de otro líquido espeso y negro, que constituye el alquitrán de madera. En las retortas queda un residuo de carbón de madera.

La destilación de una tonelada de madera proporciona en números redondos los siguientes productos: 120 m^3 de gases no condensables que se emplean como combustible para la calefacción de las mismas retortas, 500 litros de vinagre de madera, 80 litros de alquitrán de madera y 250 kilogramos de carbón de madera.

Hoy día no se emplea este método de retortas, sino que la madera, cortada y puesta sobre vagonetas, atraviesan hornos en forma de túnel, de manera que cuando la vagoneta sale del horno, la madera está com-

pletamente carbonizada y ha desprendido todas las sustancias volátiles que contenía.

Antiguamente el vinagre de madera se destilaba y sus vapores se hacían pasar por una lechada de cal, donde el ácido acético era retenido como acetato cálcico, el cual, desecado previamente, era tratado con ácido sulfúrico que dejaba libre el ácido acético.

Modernamente, el vinagre de madera se destila previamente para separar los productos más volátiles (acetona y alcohol metílico) y el líquido restante, que es una solución diluida e impura de ácido acético, se destila nuevamente en presencia de un disolvente adecuado (acetato de butilo), obteniéndose ácido acético concentrado.

Propiedades del ácido acético. — El ácido acético exento de agua conocido en el mercado con el nombre de *ácido acético glacial*, es un líquido incoloro, muy movible y de olor penetrante a vinagre. Es algo más denso que el agua, solidifica a 16,5° (de donde le viene el nombre de ácido acético glacial) y hierve a 118°. Es miscible con el agua en todas proporciones y es muy buen disolvente de numerosas sustancias.

Desde el punto de vista químico, el ácido acético presenta las propiedades generales de los ácidos, debido a que sus soluciones acuosas se encuentran disociadas, aunque débilmente, dando iones hidrógeno a los que se deben aquellas propiedades:

$$CH_3 - COOH \rightarrow CH_3 - COO^- + H^+$$

En consecuencia, las disoluciones de ácido acético tienen sabor agrio (sabor a vinagre), enrojecen el papel de tornasol y decoloran la fenolftaleína. Conducen la corriente eléctrica, desprendiendo hidrógeno en el cátodo, mientras que en el ánodo se desprende una mezcla de etano y anhídrido carbónico, debido a la descomposición de los radicales CH_3—COO que deja libres la corriente:

$$H^+ + 1\,e \longrightarrow H \text{ (gas)}$$

$$CH_3COO^- - 1\,e \rightarrow CH_3—COO \text{ (Radical inestable)}$$

$$2\,CH_3—COO \rightarrow CH_3—CH_3 + 2\,CO_2$$

Reacciona con las bases para dar sales, llamadas acetatos, y agua. En los acetatos se ha sustituido el hidrógeno del ácido unido directamente al oxígeno por un metal:

$$CH_3—COOH + NaOH \rightarrow H_2O + CH_3—COONa \text{ (acetato de sodio)}$$

Reacciona también con los metales más activos, como el cinc, hierro, magnesio y aluminio, dando acetatos y *desprendiendo hidrógeno:*

$$2\,CH_3—COOH + Fe = (CH_3 — COO)_2Fe + H_2$$

Reacciona con el alcohol etílico, dando acetato de etilo ($CH_3COO \cdot H_2C—CH_3$) y agua. La reacción se interpreta por la unión del hidrógeno reemplazable del ácido con el oxhidrilo que contiene el alcohol:

$$CH_3—COO\,H + HO\cdot H_2C—CH_3 \rightarrow H_2O + CH_3—COO—CH_2\cdot CH_3$$

Esta reacción es igualmente posible entre cualquier ácido, orgánico o inorgánico, y cualquier alcohol, y como el producto de la reacción se denomina genéricamente ester la reacción recibe el nombre de *esterificación*. De modo general puede escribirse:

$$\text{Ácido} + \text{Alcohol} = \text{Éster} + \text{Agua}$$

La esterificación es una reacción análoga a la que en Química Inorgánica se conoce con el nombre de neutralización, siendo los ésteres de la Química Orgánica comparables, por su formación, a las sales de la Química Inorgánica.

La diferencia esencial entre la neutralización y la esterificación estriba en que así como la primera es una reacción instantánea, la segunda es una reacción lenta. Ello es debido a que los ácidos inorgánicos y las bases se encuentran disociadas y las reacciones entre iones son instantáneas; en cambio, los alcoholes no están disociados y la reacción se verifica con gran lentitud.

El ácido acético en estado líquido no se inflama, pero sus vapores arden en el aire con llama poco luminosa, formándose anhídrido carbónico y vapor de agua:

$$CH_3\cdot COOH + 2\,O_2 \rightarrow 2\,CO_2 + 2\,H_2O$$

El ácido acético, bajo la forma de vinagre, se emplea en la alimentación. Sirve para fabricar numerosos compuestos químicos y farmacéuticos, así como para numerosos usos en tecnología química.

Las sales del ácido acético, o acetatos, tienen gran importancia en tintorería.

Ejercicios

¿Cómo se obtiene el alcohol ordinario a partir del almidón? ¿En qué consiste esencialmente la elaboración del vino?

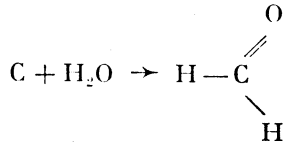
¿Qué es el alcohol absoluto y cómo se obtiene? Cítese alguna de sus principales propiedades. ¿Qué es el alcohol desnaturalizado?

¿Qué es el ácido acético? ¿Cómo se obtiene el vinagre para usos domésticos? ¿En qué consiste la destilación seca de la madera?

50. GLUCOSA, SACAROSA, ALMIDÓN, CELULOSA

Hidratos de carbono. Su clasificación. — *Los hidratos de carbono son compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, en los cuales estos dos últimos elementos se encuentran en la misma proporción en que están en el agua*, circunstancia a la que deben su nombre. Responden por tanto a la fórmula general $C_n(H_2O)_m$, donde n y m pueden ser iguales o diferentes. *Modernamente reciben el nombre de glúcidos*, pues a este grupo pertenecen la mayor parte de los azúcares, como la glucosa y sacarosa y muchos otros que, si bien carecen de sabor dulce, se descomponen en azúcares bajo la influencia de ciertos reactivos o fermentos (hidrólisis) como el almidón y la celulosa.

Los hidratos de carbono tienen gran importancia, pues constituyen el material de partida, mediato e inmediato, de todos los compuestos de carbono que forman los vegetales y animales y su formación está ligada a la función clorofílica. Con toda probabilidad el anhídrido carbónico se fija primeramente a la clorofila y después, bajo la influencia de la luz solar, se descompone el compuesto formado, dejando libre el oxígeno mientras el carbono con el agua forma el hidrato de carbono más sencillo H·CHO (metanal):



y luego, reuniéndose varias moléculas de éste (polimerización), se producen hidratos de carbono de gran peso molecular. Sin embargo, no ha sido posible hasta ahora aislar el producto intermedio más sencillo.

Se clasifican los hidratos de carbono en *osas* y *ósidos*. Las osas comprenden los hidratos de carbono que no se desdoblan en otros más sencillos, como la glucosa. Los osidos comprenden aquellos hidratos de carbono que pueden desdoblarse en moléculas más sencillas y se dividen a su vez en *holósidos*, cuando todos los productos del desdoblamiento son osas, como la sacarosa y el almidón, y *heterósidos*, cuando entre estos productos de desdoblamiento los hay de carácter diferente, como los taninos.

Osas o monosacáridos. — *Las osas o monosacáridos son sólidos, cristalinos, inodoros, de sabor dulce, solubles en agua, pero poco solubles en alcohol y nada en éter.*

Desde el punto de vista químico, *presentan propiedades características, entre otras de carácter reductor,* que se manifiestan porque reducen el líquido de Fehling y depositan plata metálica de la disolución amoniacal de nitrato de plata.

Se preparan ordinariamente por desdoblamiento o hidrólisis de los ósidos por medio de los ácidos diluidos o por medio de fermentos hidratantes.

Glucosa. — La glucosa de fórmula $C_6H_{12}O_6$, se conoce bajo dos formas que se diferencian por su acción sobre la luz polarizada. La más importante es la llamada azúcar de uva (d-glucosa), que *se encuentra en el jugo de las uvas y en otros frutos maduros,* así como en la miel y en la sangre y la orina de los diabéticos.

La glucosa se obtiene de la sacarosa o azúcar de caña, bajo la acción hidrolizante de un fermento llamado *invertasa,* o por la acción de los ácidos minerales, que la convierten en la mezcla de dos azúcares (osas), uno de los cuales es la glucosa. En la industria se suele obtener del almidón de patata o de cereales, por desdoblamiento bajo la acción del vapor de agua en presencia de ácido sulfúrico.

Cristaliza en cristales transparentes que contienen una molécula de agua de cristalización. Estos cristales funden a 86°, pierden luego el agua de cristalización y a temperatura más elevada se transforman en caramelo.

La glucosa, bajo la influencia de otro fermento llamado *alcoholasa,* elaborado por el *Saccharomyces cerevissae,* se transforma en alcohol ordinario y gas carbónico:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\,CH_3{-}CH_2OH + 2\,CO_2$$

Este proceso es el que permite transformar los líquidos azucarados de los frutos en líquidos alcohólicos. La obtención del vino consiste en dejar fermentar el jugo de uva o mosto hasta que la glucosa se convierte en alcohol. La sidra se obtiene haciendo fermentar igualmente el jugo de manzanas.

La sacarosa. — La sacarosa es un disacárido cuya molécula se puede considerar formada por la unión de dos moléculas de glucosa con eliminación de una molécula de agua, siendo su fórmula $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Se encuentra junto con la glucosa en los jugos de frutos maduros y *especialmente abundante en la caña de azúcar y en la raíz de la remolacha azucarera.*

Cristaliza en grandes cristales anhidros conocidos con el nombre de azúcar cande, muy soluble en agua, poco en alcohol y nada en éter. Funde

a 160° dando una masa transparente llamada caramelo, y a temperatura más elevada oscurece por descomponerse parcialmente.

No es reductora, por lo que no reduce el líquido de Fehling ni deposita espejo de plata con las disoluciones amoniacales de nitrato de plata.

Por la acción de los ácidos minerales diluidos y por la acción del fermento invertasa se desdobla dando glucosa, como se dijo al tratar de ésta.

La industria azucarera. — En España se extrae el azúcar exclusivamente de la remolacha. Primeramente tiene lugar la extracción del jugo, para lo cual las remolachas descabezadas y cortadas en finas rodajas, se someten a la acción del agua a 80° en una batería de difusores a contracorriente, de forma que el agua, ya cargada de sacarosa, actúa sobre la remolacha nueva, mientra que el agua pura actúa sobre la remolacha casi agotada.

Después se procede a la purificación del jugo. Para ello éste se trata con exceso de cal que neutraliza los ácidos que contiene y precipita las impurezas, y como en este tratamiento parte del azúcar se convierte en sucrato cálcico, se termina la operación haciendo pasar a través del líquido una corriente de CO_2 que deja libre el azúcar y precipita el exceso de cal como carbonato cálcico.

El líquido purificado se concentra en vacío hasta consistencia de jarabe y se deja enfriar para que cristalice el azúcar, que se separa luego por centrifugación. El líquido restante se concentra de nuevo y se repite la cristalización por dos veces, y de las agua madres, llamadas melazas, que todavía contienen azúcar, se separa una nueva porción por procedimientos especiales, tras lo cual se destinan a la obtención de alcohol por fermentación.

La remolacha agotada, una vez seca y prensada, se destina a forraje.

El almidón. — El almidón es un polisacárido, cuya molécula puede considerarse constituida por asociación de una serie de moléculas de glucosa con eliminación de otras tantas moléculas de agua. Su fórmula es $(C_6H_{10}O_5)_n$ donde n es desconocido.

Se encuentra como sustancia de reserva en semillas, tubérculos, etc., formando granos de estructura diferente según la procedencia, por lo que puede reconocerse la procedencia del almidón por examen al microscopio.

Casi todo el almidón del comercio procede de la patata o del boniato. Para su extracción se trituran aquellas materias primas y la papilla resultante se somete sobre finas telas metálicas de cobre a la acción de un chorro de agua que arrastra el almidón, que luego se separa por sedimentación y decantación y se seca.

El almidón es insoluble en agua, pero con el agua caliente sus granos se hinchan y sueldan, formándose un líquido opalino donde el almidón se encuentra en estado coloidal, que por enfriamiento produce una masa conocida por *engrudo de almidón*. Cuando se hierve con agua se solubiliza, transformándose en almidón soluble.

El almidón no reduce el líquido de Fehling. El yodo, en presencia de yoduro potásico, le colorea de azul, siendo éste su mejor reactivo.

Los ácidos diluidos por ebullición prolongada lo hidrolizan o desdoblan y el fermento amilasa (fermento de la malta), que se encuentra en el páncreas y en la saliva de los animales, transforma el almidón en maltosa. La maltosa es ya un hidrato de carbono más sencillo, que se transforma por la acción de otros fermentos en glucosa fermentable, siendo éste el proceso de la digestión del almidón y el seguido industrialmente para obtener alcohol etílico del almidón.

La celulosa. — La celulosa es un hidrato de carbono sumamente complejo. Su fórmula es análoga a la del almidón, siendo *n* más elevado que en éste. Constituye una parte principal de los vegetales, pues junto con otras sustancias, como la lignina, forma las paredes celulares. El algodón, lo mismo que las fibras de cáñamo y lino están formados por celulosa casi pura, de donde se puede obtener pura por tratamientos con ácidos y álcalis y lavados con alcohol.

Es amorfa, blanca, insípida e inodora, insoluble en agua y soluble en disolución de cloruro de cinc y en la disolución amoniacal de hidróxido cúprico, denominada reactivo de Schweitzer.

Se obtiene de la madera de abeto y de álamo, de la paja, esparto, yute, etcétera, y se emplea en grandes cantidades en la industria del papel, la seda artificial, pólvora sin humo y colodión.

La industria de la celulosa y las industrias derivadas. — La celulosa *se obtiene industrialmente de la madera,* para lo cual los troncos se cortan en pequeños trozos que se someten bajo presión a la acción de una mezcla de hidróxido y sulfuro sódico o bien a la de una disolución de bisulfito sódico, con lo que se disuelve la lignina y queda la celulosa más o menos pura. Luego se desmenuza, lava y blanquea en tinas holandesas. Finalmente la pasta se seca en máquinas continuas, de donde sale en forma de cartón y se corta en láminas, que se emplean en las industrias derivadas.

Para la obtención de la *seda artificial a la viscosa,* que es la más corriente, se trata la celulosa por lejía cáustica al 17 %, que la transforma en celulosa sódica, la cual luego se trata con sulfuro de carbono, con lo que se produce el xantogenato de celulosa. Éste da con agua una disolución de gran viscosidad que recibe el nombre de viscosa.

La viscosa se hace salir a presión por unas toberas finísimas, recogiéndose sobre un baño ácido, donde solidifica formando hilos a medida que va saliendo por la tobera. Estos hilos, lavados y secos, constituyen la seda artificial a la viscosa.

Para obtener el *papel de celofán,* la viscosa se hace salir a través de una rendija estrechísima y la película se recoge igualmente sobre un baño ácido, y después de lavada y seca forma el papel de celofán.

La industria que más celulosa consume es la industria del papel. Éste

está formado por fibras de celulosa entrecruzadas con adición de algún aglutinante.

La celulosa desmenuzada se trata con lejías decolorantes en pilas holandesas, donde al propio tiempo es reducida a fibrillas por la acción de un rodillo giratorio provisto de cuchillas. En las holandesas se añade también el material de relleno deseado para que el papel adquiera luego mayor blancura y suavidad, al mismo tiempo que se hace susceptible de adquirir brillo, y eventualmente las materias colorantes que den al papel el color deseado. En encolado se practica añadiendo a la pasta de papel jabón de colofonia y alumbre, con lo cual se depositan sobre las fibrillas pequeñísimas partículas de resina y de hidróxido de aluminio. Este encolado tiene por finalidad impedir que la tinta se corra sobre el papel.

Obtenida la pasta de papel, se le añade gran cantidad de agua formando la lechada de pasta que se vierte sobre tamices sin fin, formando una capa de poco espesor. El agua es absorbida por debajo del tamiz y posteriormente se hace pasar la tira de papel continuo entre rodillos que lo terminan de secar y otros por fin lo satinan. A la salida de la máquina el papel se arrolla o se corta en láminas.

Ejercicios

¿Qué son hidratos de carbono? ¿Cómo se clasifican?

¿Qué es y dónde se encuentra la glucosa? ¿Cuáles son sus propiedades más características.

¿Qué es la sacarosa y dónde se encuentra? Describir de manera elemental el proceso de la Industria azucarera.

¿Dónde se encuentra el almidón? ¿Cómo se obtiene? ¿Cuáles son sus propiedades más sobresalientes?

¿Qué es la celulosa, dónde se encuentra y cómo se obtiene? Hacer una sencilla reseña de las principales industrias derivadas de la celulosa.

INDICE

FÍSICA

1. La medida 7
2. Los movimientos uniforme y uniformemente acelerado 14
3. La fuerza como vector. Composición y descomposición de fuerzas . 26
4. Gravitación y gravedad 34
5. Trabajo, potencia y energía 42
6. Máquinas simples 49
7. La balanza. Densidad 56
8. El sonido 63
9. Hidrostática. Principio de Pascal 70
10. Cuerpos sumergidos y flotantes. Principio de Arquímedes . . . 78
11. Presión de los gases 84
12. Calor y temperatura. Termómetros 93
13. Cambios de estado de agregación 103
14. Dilatación de sólidos y líquidos 112
15. Dilatación de los gases. Ecuación general 119
16. Equivalente mecánico del calor. Máquinas térmicas 126
17. Propagación y reflexión de la luz 135
18. Refracción de la luz 143
19. Lentes 152
20. Magnetismo 160
21. Electrostática 166
22. Circuito eléctrico. Efectos de la corriente eléctrica 171
23. Ley de Ohm. Resistencia eléctrica 181
24. Trabajo y potencia de la corriente 188
25. Descarga a través de los gases enrarecidos. Electrones 192
26. Corrientes inducidas. Máquinas eléctricas 196

QUÍMICA

27. Clases de sustancias. Estructura atómica de la materia 205
28. Sustancias simples. Pesos atómicos. Valencia atómica 212
29. Sustancias compuestas. Formulación de compuestos. Reacciones químicas 217
30. Hipótesis de Avogadro. Teoría de la ionización 223
31. El agua 229
32. El hidrógeno 235

33. El oxígeno 239
34. Los elementos halógenos 244
35. Ácido clorhídrico 250
36. Ácidos, bases y sales 253
37. Azufre y anhídrico sulfuroso 259
38. Ácido sulfúrico 265
39. El aire 268
40. El nitrógeno 272
41. El amoníaco 276
42. Ácido nítrico 280
43. Fósforo. Abonos 284
44. Carbono. Anhídrido y ácido carbónico. Carbonato sódico 292
45. La caliza y la sílice en la naturaleza y en la técnica 299
46. Metales. Propiedades generales. Aleaciones 305
47. Metalurgia y procesos metalúrgicos: siderurgia 310
48. Química orgánica. Hidrocarburos. Petróleos 318
49. Alcohol y ácido acético 323
50. Glucosa, sacarosa, almidón, celulosa 330

OBRAS
BASICAS
DE
FORMACION
CULTURAL

Editorial Teide
le ofrece
los mejores
textos
de
Física y Química
para
el ciclo
de Bachillerato
y
Curso Preuniversitario

NEUTRON. Física y Química (4.°)

FISICA. Curso Preuniversitario

FORMULACION Y NOMENCLATURA. I. Química inorgánica; II. Química orgánica.

PROBLEMAS DE FISICA Y QUIMICA (4.° y reválida)

Edición 1965
Aprobada por O. M. 22-III-1965
B. O. M. E. N. de 29-III-1965
Precio autorizado: 72 ptas.